



Alternativ glatførebekæmpelse - virkning på jord og træer

Ingerslev, Morten; Skov, Simon; Bjergager, Per

Publication date:
2018

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Document license:
[Ikke-specificeret](#)

Citation for published version (APA):
Ingerslev, M., Skov, S., & Bjergager, P. (2018). *Alternativ glatførebekæmpelse - virkning på jord og træer*. IGN Rapport



Alternativ glatførebekæmpelse – virkning på jord og træer

2010-2017

Morten Ingerslev, Simon Skov og Per Bjerager

IGN Rapport
September 2018

Titel

Alternativ glatførebekæmpelse – virkning på jord og træer

Forfattere

Morten Ingerslev, Simon Skov og Per Bjerager

Bedes citeret

Morten Ingerslev, Simon Skov og Per Bjerager (2018): Alternativ glatførebekæmpelse – virkning på jord og træer. IGN Rapport, september 2018, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 133 s. ill.

Udgiver

Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning
Københavns Universitet
Rolighedsvej 23
1958 Frederiksberg C
ign@ign.ku.dk
www.ign.ku.dk

Ansvarshavende redaktør

Claus Beier

ISBN

978-87-7903-797-7 (web)

Omslag

Jette Alsing Larsen

Forsidefoto

Øster Allé, Morten Ingerslev

Publicering

Rapporten er publiceret på www.ign.ku.dk

Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse

Skriftlig tilladelse kræves, hvis man vil bruge instituttets navn og/eller dele af denne rapport i sammenhæng med salg og reklame

Forord og læsevejledning

Denne rapport samler resultaterne af en række del-undersøgelser, der tilsammen belyser, hvordan tømidler påvirker træer, jord og stofkredsløb. Dette projekt udmærker sig ved at være et fuldskala-feltforsøg, og ved at kombinere en lang række plantefysiologiske målemetoder med analyser af jord og jordvand. Tilsammen skaber målingerne et grundlag for at forstå tømidlernes effekt på planter og miljø. Undersøgelsen indledtes i 2009, før træerne blev plantet på forsøgslokaliteterne, og er opgjort i 2013 i tidligere rapport samt i nærværende rapport efter dataindsamling i 2017.

Undersøgelserne, der præsenteres i denne rapport, er baseret på to måleperioder:

- En intensiv måleperiode fra starten af projektet i 2009 med kemiske analyser af blade, jord og jordvand, måling af træers og blades vækst, farve og funktion samt scoring af parametre, der vurderes visuelt samt opstilling af stofbalancer frem til december 2012. Den intensive måleperiode blev afsluttet med endelig afrapportering i marts 2014 (Ingerslev et al., 2014).
- En mindre intensiv måleperiode fra december 2012 og frem til efteråret 2017, hvor resultaterne for begge periode blev sammenskrevet i denne rapport, som bygger videre på den første rapport fra 2014.

Der indgår tre lokaliteter, som hovedsageligt benævnes med forkortelser. De tre hovedlokaliteter er: Fælledparken (FÆ), Center Boulevard (CB) og Øster Allé (ØA). FÆ er en parklokalitet, hvor der ikke anvendes tømidler. Denne lokalitet anvendes som sammenligningsgrundlag eller reference til målingerne på de to andre lokaliteter. CB og ØA er veje med tilnærmelsesvist ens trafikintensitet, men på CB anvendes salt og på ØA anvendes kaliumformiat.

Hvert kapitel afsluttes med en kortfattet delkonklusion på kapitlets emner. Rapportens konklusion sammenfatter alle kapitler.

Idéen til projektet opstod på et møde mellem Jens Jacob Knudsen, Kim Sørensen, begge fra Københavns Kommune, og Lars Bo Pedersen, der dengang arbejdede på Skov & Landskab (nu IGN). Siden udviklede idéerne sig. Sammen med Morten Ingerslev blev der lavet en grundlagsgivende litteraturundersøgelse samt et efterfølgende seminar. Lars Bo Pedersen var projektleder i projektets første halvdel og satte de overordnede rammer. Senere overtog Morten Ingerslev ansvaret for projektet i tæt samarbejde med Simon Skov. Vi vil gerne rette en stor tak til de personer, som visionært har tænkt dette projekt ind i ombygningen af Øster Allé, samt bidraget med godt samarbejde og konstruktive diskussioner: Jens Jacob Knudsen, Kim Sørensen, Jan Elvekjær, Helle Hagelund, Lars Christensen og Jens

Ole Juul fra Københavns Kommune. Endvidere skal der rettes en stor tak til laboranter og teknikere, der har arbejdet med projektets faste tekniske installationer og udført analyser: Mads Madsen Kragh, Allan Overgaard Nielsen, Preben Frederiksen og Xhevat Haliti. Katherine Poneta analyserede træerne på ØA og skrev sit kandidatspeciale om resultaterne. Undervejs deltog hun også effektivt og målrettet i målingerne til dette projekt – En stor tak for denne indsats. Undervejs har studentermedhjælperne Jannik Hansen, Sidsel Lotz Jespersen og Katrine Hvid Andersen bidraget på bedste vis med feltarbejde, databehandling og formidling. En del af analysearbejdet blev foretaget ved Prodana og Analytech, som også skal have tak for godt samarbejde. Projektet, og den tilhørende rapport, er bestilt og finansieret af Københavns Kommune.

Kemi: Alle stofkoncentrationer er opgivet på tørstofbasis. Der anvendes overvejende kemiske symboler for atomer: kulstof (C), kvælstof (N), fosfor (P), kalium (K), kalcium (Ca), magnesium (Mg), svovl (S), jern (Fe), mangan (Mn), natrium (Na), klor (Cl). Desuden anvendes forkortelser for opløst organisk kulstof (DOC) og exchangeable sodium percentage (ESP), som angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen. I rapporten anvendes ordet ”salt” som synonym for vejsalt/NaCl, på trods af, at ordet i kemisk forstand betyder en neutral binding mellem en metal-ion og en ikke-metal-ion.

Statistik: I rapporten anvendes et signifikansniveau på 0,05. Hermed menes, at forskelle med 95 % sikkerhed ikke beror på tilfældigheder, men skyldes faktiske forskelle. Det er bl.a. dataseriernes varians, der afgør, om to forskellige gennemsnit også er signifikant forskellige.



Nogle saltskader er tydelige, andre mere skjulte.



Saltilager hos Københavns Kommune.

Indholdsfortegnelse

FORORD OG LÆSEVEJLEDNING	2
INDHOLDSFORTEGNELSE	5
BAGGRUND	7
FORSØGSLOKALITETERNE	9
SALTDOSERING I PERIODEN	12
Effekten af høj dosering med kaliumformiat	12
JORD	14
TEKSTUR	14
JORDDENSITET	16
JORDKEMI	18
Udtagning og analyse af jordprøver	18
Kulstof (C)	22
Kvælstof (N)	22
Kulstof (C) / kvælstof (N)-forholdet	23
Glødetabet	24
Fosfor (P)	26
Kalium (K)	26
Calcium (Ca)	27
Magnesium (Mg)	30
Jern (Fe)	30
Mangan (Mn)	31
Natrium (Na) og klorid (Cl)	35
pH	38
Kationbytterkapaciteten (CEC)	38
KONKLUSIONER PÅ JORD	39
VAND	41
VANDKEMI	41
VANDBALANCE	52
STOFBALANCER	54
KONKLUSIONER PÅ VAND	59
TRÆER	62
HØJDE OG STAMMEOMKREDS	62
GRENVÆKST	68
KRONESTØRRELSE OG DENSITET	69
Løvtab	72
SCORING AF TRÆERNE	74
Beløvning	74
Blomstring	77
Barkskader	78
Døde grene	78
Kloroser	80
Nekroser	81
Kloroser og nekroser	82
Insektgnav	83
Sundhed	85
KONKLUSIONER PÅ TRÆER	86
BLADE	88

BLADSTØRRELSE.....	88
GRØNFARVNING (VURDERET).....	92
BLADFARVE (MÅLT)	93
KLOROFYLKONCENTRATION	103
FLUORESCENS.....	106
BLADKEMI	116
Udtagning og analyse af bladprøver	116
Bladvægten.....	116
Næringsstofferne, Na og Cl	116
KONKLUSIONER PÅ BLADE	122
ØKONOMI	124
KONKLUSION	126
REFERENCER OG UDDYBENDE LITTERATUR.....	129
REFERENCER.....	129
UDDYBENDE LITTERATUR	130

Baggrund

Anvendelsen af vejsalt til glatførebekæmpelse har forbedret fremkommeligheden og trafiksikkerheden på vejnettet i Danmark, men brugen er samtidig forbundet med en række miljømæssige problemer, herunder svækkelse af beplantningers vækst, sundhed og udseende. Det er også velkendt, at vejsalt forringer buske og træers vækstvilkår ved at forringe jordens frugtbarhed, men også at vejsalt har en negativ påvirkning på flora og fauna i både jord, vandløb og søer. Det har både tidligere (Hedvard 1972, Dragsted 1978, Dragsted 1979, Dragsted 1980a, Dragsted 1980b og Dragsted 1988) og nuværende danske forskning vist (Randrup & Pedersen 1996, Randrup & Pedersen 1998, Pedersen et al. 2000a, Pedersen et al. 2000b, Pedersen et al. 2001, Pedersen 2003, Pedersen 2004 og Ingerslev & Skov 2015). Samtidig er der på den nordlige halvkugle registreret flere tilfælde af forringet grundvands- og drikkevandskvalitet, som følge af anvendelsen af vejsalt. Der har været mange tiltag undervejs i forbindelse med udvælgelse af velegnet plantemateriale, men også af mere vej- og spredeteknisk karakter. Ingen af disse tiltag har vist sig at være tilstrækkelige til at modvirke vejsaltets u hensigtsmæssige egenskaber.

Grundlaget for det nuværende fokus på alternativer til vejsalt tog oprindeligt udgangspunkt i flere, næsten samtidige spørgsmål stillet af Vejdirektoratet: Hvad siger litteraturen om vejsaltets påvirkning på planterne langs vejene (Randrup & Pedersen 1996) og hvordan bedømmer de danske forvaltninger betydningen af vejsaltning, planteskader og beskyttelse langs det danske vejnet (Randrup & Pedersen 1998)? Litteraturundersøgelsen dokumenterede, at salt skader vejplanter enten gennem direkte kontakt med planternes overjordiske dele eller gennem optagelse fra jorden. Vejsalt transporteres til planterne gennem overfladeafstrømning, saltsprøjt og som vindbårne partikler. De danske forvaltninger bedømte vejsalt til at være den mest betydende stressfaktor. Frederiksborg Amt (Pedersen et al. 2000b) og Københavns Amt (Pedersen et al. 2000a) stillede i kølvandet spørgsmål ved saltværns effekt og fik igangsat detailundersøgelser på udvalgte vejstrækninger, begge suppleret med ekstensive undersøgelser på adskillige lokaliteter. Hovedvægten lå her på at belyse betydningen af afstanden mellem plante og vej og saltværns betydning. Her var konklusionerne, at saltværn virker fortræffeligt, når de opstilles rigtigt, og at planteafstanden er af vital betydning for beplantningerne, især hvis der ikke opstilles saltværn.

Parallelt hermed fik den daværende Søllerød Kommune (Pedersen 2003) igangsat tilsaltningsundersøgelser af ny vejjord, mens Frederiksberg Kommune fik etableret en undersøgelse over effekten af saltningsophør med NaCl. Tilsaltning af ny jord foregår hurtigt uden saltværn og selv klorid synes til tider at ophobes. Saltningsophør og brug af urea som erstatning viste sig slet ikke at være nogen farbar vej. Brugen af urea gav en voldsom stor kvælstofbelastning.

Disse forsøg fulgtes af vejsaltundersøgelser i Københavns Kommune, som især fokuserede på hævede rabatters betydning som alternativ til saltværn. Hævede rabatter kan have en positiv effekt på saltbelastningen, men kan også føre til øget stress fra opkoncentreret vejsalt på grund af øget fordampning fra jorden på de meget sommervarme hævede rabatter.

Det var under disse forsøg i starten af 00'erne at Københavns Kommune tog de første skridt mod et projekt med fokus på alternativer til vejsalt. De første streger blev trukket i 2004 af Kim N. Sørensen (Fagansvarlig for Vintertjenesten i Københavns Kommune) og daværende distriktsleder Jens Jacob Elkjær Knudsen i samarbejde med Lars Bo Pedersen fra det daværende Skov & Landskab. I forlængelse af en større workshop i 2006, så to forprojekter dagens lys i 2007: "Vurdering af alternative tømidler til brug for glatføreforebyggelse og bekæmpelse på Københavns Kommunes gangarealer, cykelstier og kørebaner" (COWI) og "Alternativer til vejsalt som tømiddel i glatførebekæmpelsen (Pedersen & Ingerslev, 2007)". Det var hensigten med disse to projekter, at de skulle danne grundlag for udvælgelsen af de alternative tømidler, som skulle afprøves i et efterfølgende in situ forsøg. Efter ½ års planlægning og tilpasning til dels det dengang igangværende vejanlæg på Øster Allé, dels Fælledparken og dels Center Boulevard, blev der i 2009 taget de første spadestik til et nytænkende studie og det største af sin art i verden: Storskala afprøvning af kaliumformiat på Øster Allé med Center Boulevard som vejsaltreference og Fælledparken som en decideret nulreference helt uden tilførsel af vejsalt.

Det intensive projekt forløb i perioden fra efteråret 2009 med plantning af træerne frem til december 2012, hvor de sidste prøver blev udtaget og denne del af projektet blev endeligt afrapporteret i februar 2014. I perioden fra december 2012 og frem til august 2017 er projektet drevet mere ekstensivt eksempelvis uden monitorering af regn, gennemdryp, jordvand og stofbalancer og langt hovedparten af målingerne er baseret på årlige indsamlinger af data og bladprøver i august måned.

Sideløbende med nærværende undersøgelse har Vejdirektoratets Vinterudvalg købt en litteraturundersøgelse af tømidlers miljøeffekt (Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler: Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Ingerslev, M., & Skov, S. (2015). Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport). Det er slående, hvor relativt få original-undersøgelser, der findes til belysning af de forskellige tømidler. Litteraturoverblikket understreger vigtigheden af langvarige, praksisnære feltundersøgelser.

Forsøgslokaliteterne

Den 23. november 2009 blev lindetræerne plantet på de tre forsøgslokaliteter. I forbindelse med plantningen blev diverse instrumenter installeret i jorden. På udplantningstidspunktet havde træerne ikke tabt løvet og var derfor ikke afmodnede. Træerne kom fra Kortegaards Planteskole, havde samme alder og kom fra samme klon.

De tre forsøgslokaliteter ligger på Center Boulevard (CB) bag den østligste parkeringsplads ved Bellacentret, på Øster Allé (ØA) tæt ved Fælledparken Stadion og i Fælledparken (FÆ) skråt over for Fælledparken Stadion (Koordinator, Datum: WGS84, CB: 55° 38' 10'' N. br., 12° 34' 26'' Ø. lg; ØA: 55° 42' 12'' N. br., 12° 34' 07'' Ø. lg; FÆ: 55° 42' 10'' N. br., 12° 34' 07'' Ø. lg). Skitser af de tre forsøgslokaliteter med forsøgstræerne med deres placering og numre er vist i figur 1, 2 og 3.

I marts 2014 bliver alle træer på de tre lokaliteter beskåret med samme beskæringsstrategi, og 2016 bliver kun træerne på ØA beskåret.

For at undersøge om kaliumformiat kan have en akut negativ virkning på træernes vækst og vitalitet blev der i løbet af januar og februar 2014 spredt kaliumformiat svarende til 3 gange den gennemsnitlige årlige dosis på jorden omkring træerne i FÆ. Kaliumformiaten blev spredt af 4 gange med ca. 14 dages mellemrum (14. og 31. januar samt 14. og 28. februar): 7 liter kaliumformiat blev vandet ud over et areal på 3m x 3m omkring hvert træ i FÆ.

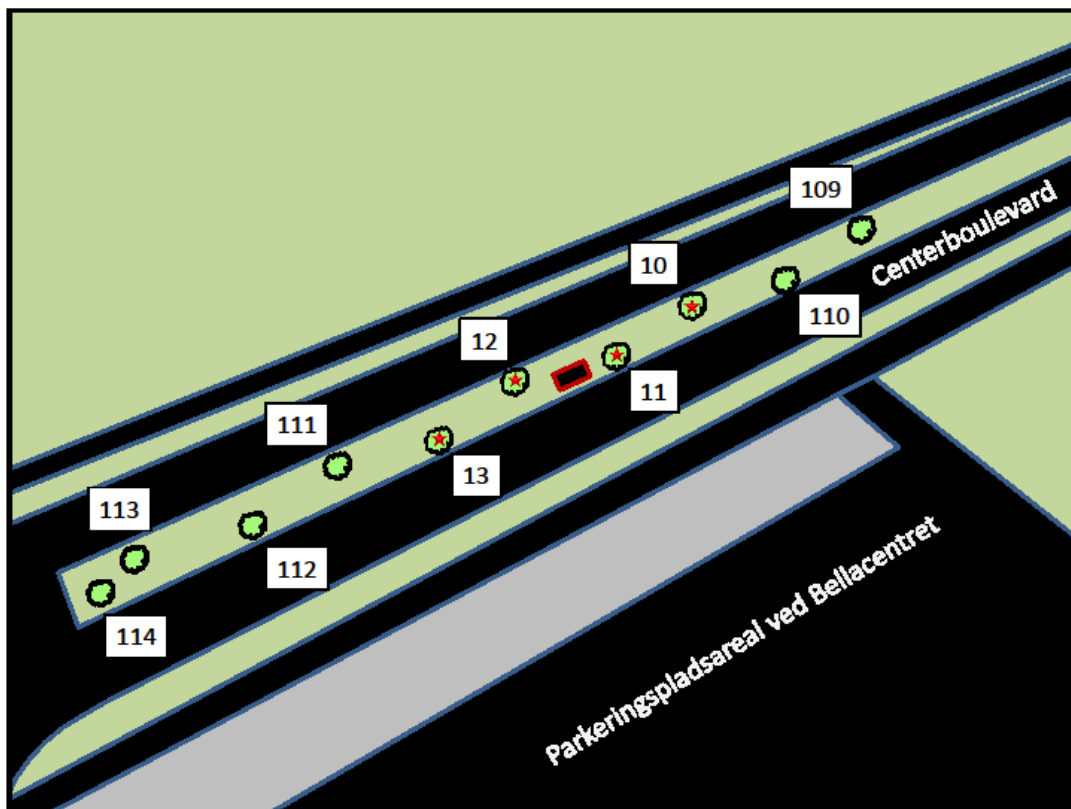
Af praktiske grunde indgår alle forsøgstræerne ikke i alle dele af undersøgelsen. På ØA og CB er der udvalgt fire træer og i FÆ to træer, som indgår i undersøgelser af stofkoncentrationer og udvaskning fra plantebedene med jordvand samt stofbalancer. Disse træer indgår ikke i undersøgelserne af jordbundskemien i perioden efter installation af forskningsinstrumenterne, da jordprøveudtagningen vil kunne ødelægge installationerne. Ved undersøgelse af træernes overjordiske dele er alle forsøgstræerne benyttet (Tabel 1). De metoder og det udstyr, der er anvendt ved de forskellige undersøgelser er beskrevet sammen med resultaterne i de efterfølgende kapitler.

Det har været tydeligt, at lokaliteterne i sagens natur ikke er ens, og at der er en række forskelle på lokaliteterne, som gør at tolkningen af resultaterne skal tages med forbehold for disse forskelle. FÆ-lokaliteten er placeret i et område med læ fra andre træer og krat og har et præg af skovklima, og er samtidig en lokalitet der er præget af de rekreative aktiviteter, som foregår her. ØA-lokaliteten ligger midt i Fælledparken og er også præget af de mange relativt tætstående træer og krat, som omgiver alléen.

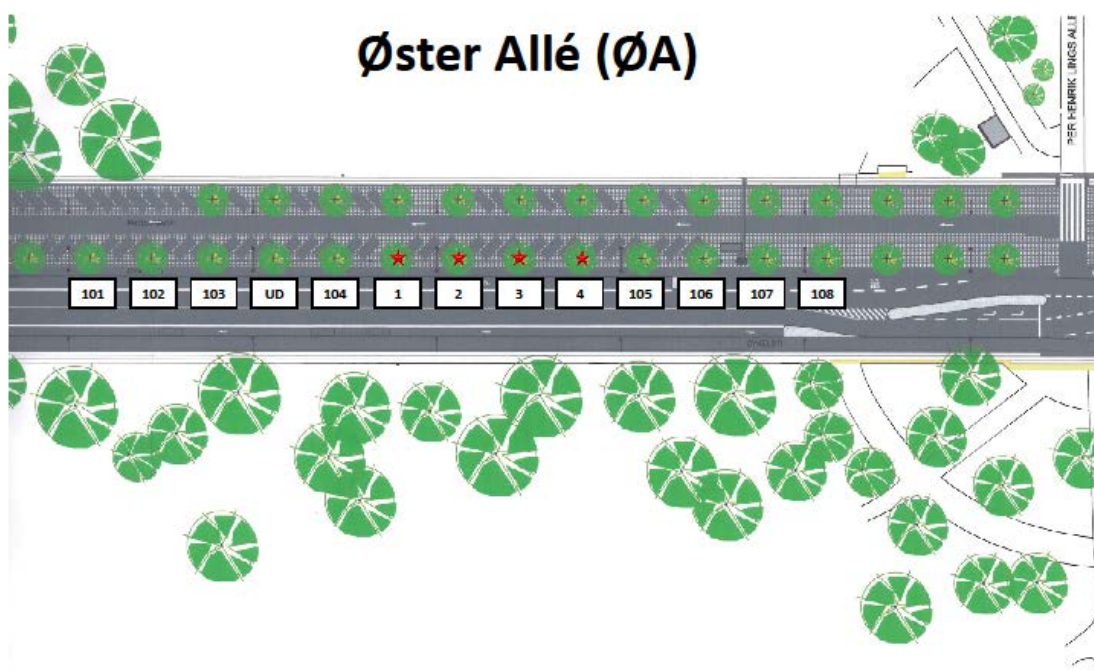
Træer, krat og stadion giver en del læ på denne lokalitet, som også er præget af rekreative aktiviteter. CB-lokaliteten er præget af bygninger på den ene side og et ret åbent landskab på den anden side. Denne lokalitet er mere forblæst end FÆ og ØA.

Tabel 1: Oversigt over undersøgelser, lokaliteter og trænumre.

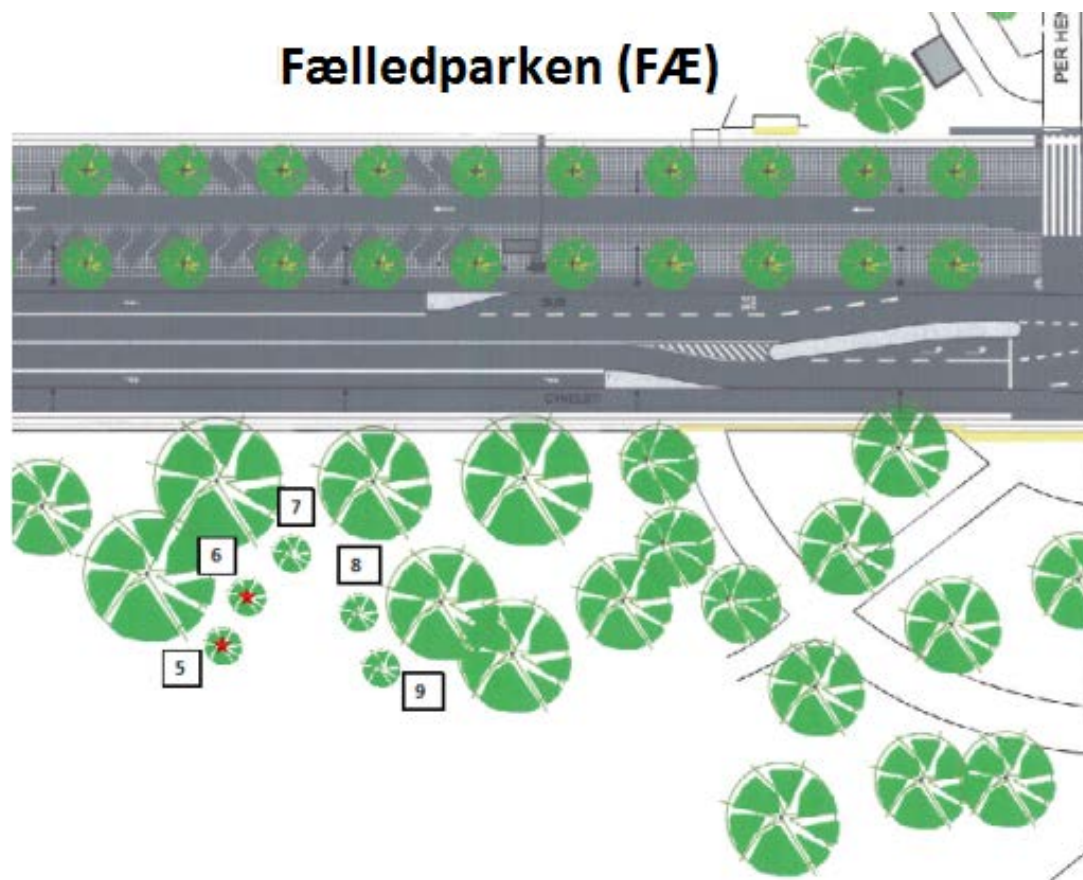
Undersøgelser	ØA, trænr.: 1, 2, 3 og 4 FÆ, trænr.: 5 og 6 CB, trænr.: 10, 11, 12 og 13	ØA, trænr.: 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107 og 108 FÆ, trænr.: 7, 8 og 9 CB, trænr.: 109, 110, 111, 112 113 og 114
Jordbundskemi og fysik: Jordbundskemi, Jorddensitet, og tekstur		X
Jordvandskemi og stofbalancer: Jordvandskemi, jordfugtighed udvaskning af stoffer, opsamling og kemisk analyse af gennemdryp og sjap samt stofbalancer.	X	
Træernes vækst: Træhøjde, stammediameter, grenlængdetilvækst, kronestørrelse og kronediameter samt løvtab	X	X
Træernes sundhed: Beløvning, Blomstring, grønfarvning, barkskader, insektgnav, døde grene, overordnet sundhedsvurdering.	X	X
Bladenes anatomi, fysiologi og farve: Bladkemi, fotosyntese, klorofylindhold, bladareal, bladvægt, farve	X	X



Figur 1: Forsøgslokaliteten på Centerboulevard (CB) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.



Figur 2: Forsøgslokaliteten på Øster Allé (ØA) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.



Figur 3: Forsøgslokaliteten i Fælledparken (FÆ) med angivelse af forsøgstræerne og deres nummerering. Rød stjerne angiver de træer, hvor der undersøges jordvandskemi og jordfugtighed med efterfølgende beregning af stofbalancer.

Saltdosering i perioden

Saltdoseringen for perioden fra 2009 til 2012 er gennemgået grundigt i nedenstående afsnit om jordvand og stofbalancer. Overordnet skal det nævnes, at der ikke er spredt lige meget salt og kaliumformiat i de forskellige år. Specielt er der i de relativt varme vintre 2014/15 – 2016/17 spredt mindre mængder af tømidlerne. På grund af de varierende forhold mellem årene, skal tømidlernes effekt på træerne i høj grad ses som en samlet effekt over hele forsøgsperioden og ikke punktvis fra år til år.

Effekten af høj dosering med kaliumformiat

I vinteren 2014 blev der ”overdoseret” kaliumformiat ved træerne i FÆ. I felter på 3x3 meter blev der spredt 7 liter kaliumformiat pr. træ hver anden uge (uge 3, 5, 7 og 9). Græsset omkring træerne er blevet svedet af behandlingen og kommer kun langsomt tilbage (se figur 4)



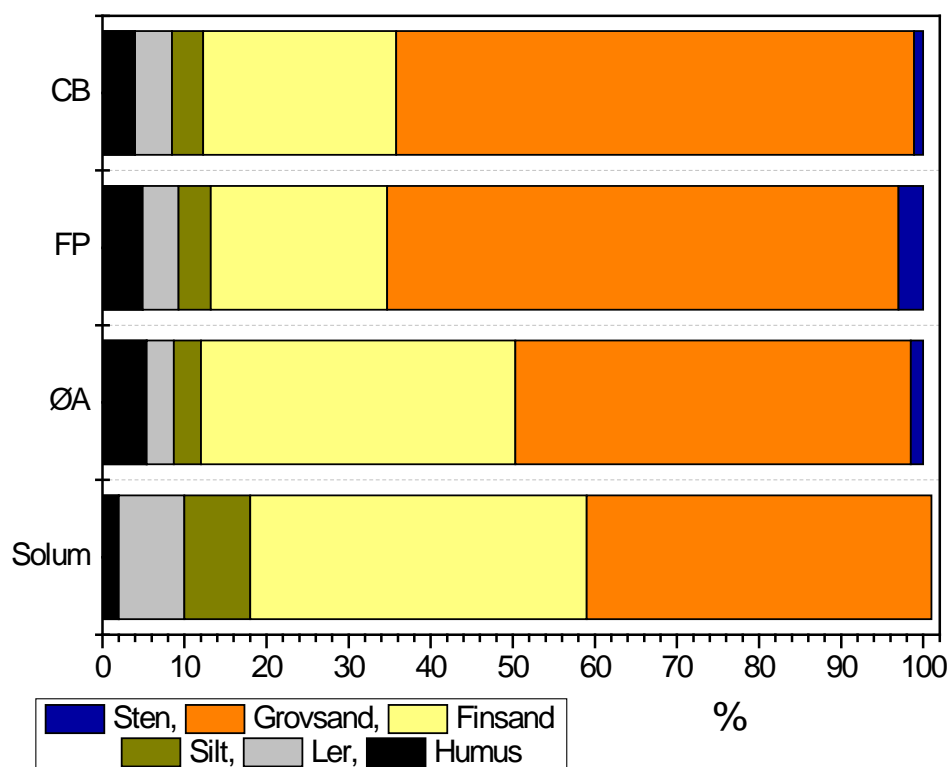
To billeder af træer i FÆ, som fik 3 gange årlig gennemsnitsdosis i januar og februar 2014 i en firkant på 3x3 m omkring stammen. Billedet øverst er fra marts 2014, mens det nederste billede er fra august 2017, hvor græsset er kommet godt tilbage og man nu kun svagt kan ane det firkantede areal.

Jord

Tekstur

Ved tilplantning af forsøgslokaliteterne i november 2009 blev der udtaget jordprøver på de forskellige lokaliteter af den AllétræsMuld, som blev anvendt i plantehullerne. På CB og i FÆ var det endvidere muligt at udtage jordprøver af råjorden fra bunden af plantehullerne i ca. 100-120 cm dybde, inden der blev plantet. Det var ikke muligt at udtage disse prøver af råjorden på ØA, da råjorden i ca. 50-70 cm's dybde allerede var blevet løsnet og blandet med AllétræsMuld forud for plantning. På ØA blev der i stedet taget jordprøver fra blandingen af AllétræsMuld (50-70 cm's dybde), og fra en dybde (80-100 cm) der antages at ligge under eller i den nederste del af blandingen af AllétræsMuld og råjord. Disse prøver blev sendt til Prodana, som lavede teksturanalyser på dem. Analyserne blev lavet med følgende kornstørrelsesfordeling:

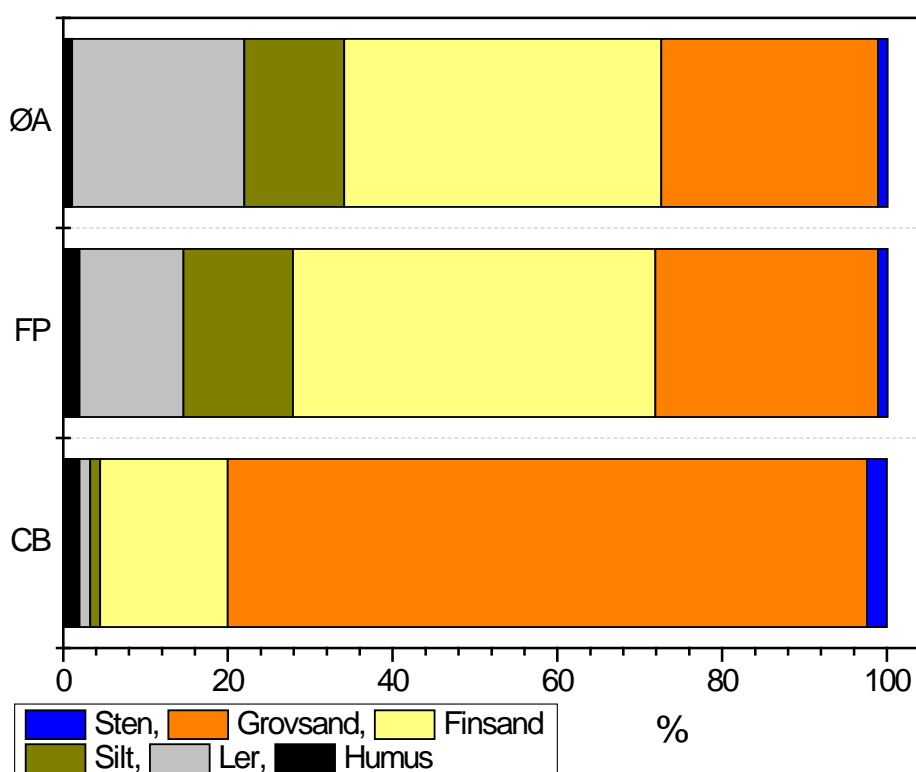
- Humus
- Ler: < 0,002 mm
- Silt: 0,002 – 0,02 mm
- Finsand: 0,02 - 0,2 mm
- Grovsand: 0,2 - 2,0 mm
- Sten: > 2,0 mm



Figur 4: Teksturfordelingen i AllétræsMuld fra de forskellige lokaliteter samt den teksturfordeling, som Solum opgiver i databladet (2009) for AllétræsMuld.

Resultaterne fra AllétræsMuld-prøverne viser, at der er forskel på den AllétræsMuld, der er anvendt på de forskellige lokaliteter, specielt er der en højere andel af finsand på ØA end på de to andre lokaliteter. Omvendt er det for grovsandsfraktionen. Desuden er der mindre humus på CB sammenlignet med ØA og FÆ, samt flere sten i FÆ sammenlignet med ØA og CB (figur 5). Det ser således ud til, at AllétræsMuld'en har haft en forskellig teksturfordeling på de forskellige lokaliteter, og at det især er fordelingen mellem fin- og grovsand, der er forskellig på ØA sammenlignet med CB og FÆ. Hvis man deler jordernes teksturklasser i to grovklasser: humus, ler og silt i den ene grovklasse med stærkt vandstandsende fraktioner og finsand, grovsand og sten i den anden grovklasse, så er fordelingen mellem disse to klasser stort set ens på de tre lokaliteter.

Når man sammenligner teksturfordelingen fra AllétræsMuld'en fra de forskellige lokaliteter, med de data som Solum opgiver for den leverede AllétræsMuld, ser man, at der er forskelle: Solum opgiver et væsentligt højere indhold af ler og silt samt mindre humus, end det vi har fundet på de tre lokaliteter. Fordelingen mellem fin- og grovsand er næsten ens på ØA og i Solums datablad, hvor CB og FÆ har en højere andel af grovsand og tilsvarende lavere andel af finsand.

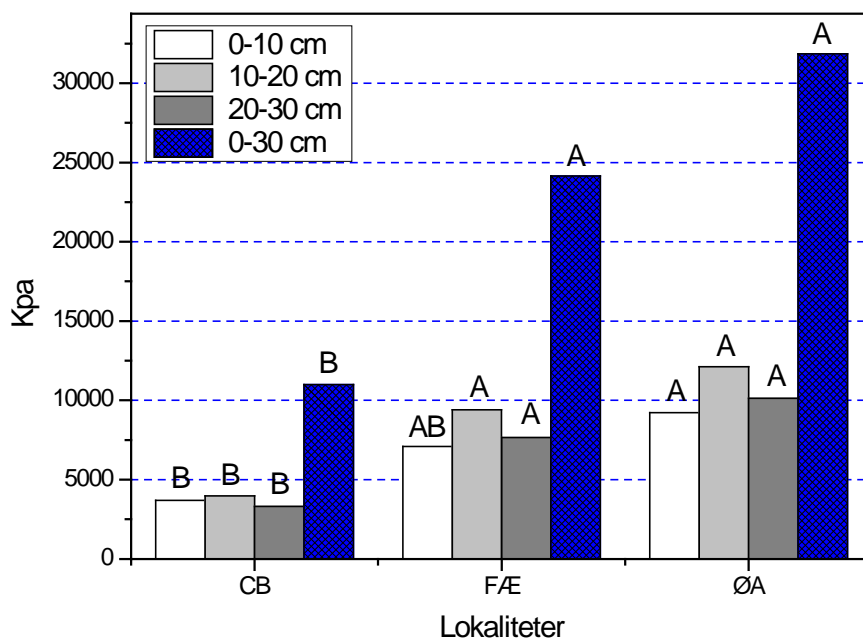


Figur 5: Teksturfordelingen i råjorden i bunden af plantehullerne på de forskellige lokaliteter.

Når man sammenligner råjorden i bunden af plantehullerne fra de forskellige lokaliteter, så er der tydelig forskel på jorderne (figur 6). På CB er råjorden domineret af de grove partikler, især grovsand, mens råjorden på ØA er meget dårligere drænet med et betydeligt indhold af ler og silt. Ikke overraskende ligner teksturfordelingen i råjorden i FÆ, den vi finder på ØA, dog med et lidt mindre indhold af ler og silt. Det er vigtigt at forholde sig disse forskelle når man sammenligner lokaliteterne.

Jorddensitet

Jorddensiteten blev målt på ØA og i FÆ i august 2012 og på CB i november 2012. Densiteten blev ikke bestemt direkte, men via målinger af jordkomprimeringen. Målingerne blev foretaget med et jordpenetrometer fra Spectrum Technologies, Inc. (Fieldscout, SC 900 Soil, Compaction Meter). Så vidt det var muligt for sten og rødder, blev der foretaget fire målinger i hvert bed, som indgik i denne del af undersøgelsen. Udstyret brød desværre sammen tre gange under målingerne og var på værksted flere gange. Årsagen til sammenbruddene skyldes, at rødder og sten fanger målespidsen, når udstyret hives op af jorden, herved bliver målestangen hevet ud af selve trykmåleren. Disse sammenbrud har gjort, at vi har måttet gennemføre målingerne på forskellige tidspunkter for de forskellige lokaliteter, og at der ikke er komplette måleserier for alle træerne. Der er seks målinger på CB, ni i FÆ og 23 på ØA.



Figur 6: Den gennemsnitlige jorddensitet for fire forskellige dybdeintervaller målt med et jordpenetrometer. Bemærk at de blå søjler angiver summen af de tre andre søjler. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellig jorddensitet mellem forskellige lokaliteter. Inden for den enkelte lokalitet er der ikke fundet signifikant forskellig jorddensitet mellem dybderne.

Når en jord med et vist lerindhold bliver udsat for Na fra traditionelt vejsalt, kan den ”klappe sammen”. Det sker ved at lerpartiklernes specifikke struktur forsvinder (dispergering) ved hydratisering (Na omgiver sig med en vandkappe i modsætning til f.eks. Ca), lerpartiklerne flyder sammen, og porevolumenet mellem lerpartiklerne falder markant, hvorved jorddensiteten stiger. Hvis der er forskel på lokaliteterne, vil man derfor forvente, at jorden på CB vil få en højere densitet end jorden på ØA og i FÆ. Dette er ikke tilfældet, det er lige omvendt (figur 7). Jorden på CB er signifikant mindre komprimeret end jorden på ØA og i FÆ, dette er dog ikke signifikant for FÆ i dybden 0-10 cm. Disse forskelle skyldes sandsynligvis, at folk går på jorden tæt ved træerne på ØA og i FÆ, mens der ikke er nogen, der går på jorden ved træerne på CB. Den tydeligt større grovsandsfraktion på CB og FÆ er formodentlig årsag til den mindre densitet på disse lokaliteter i forhold til ØA. Der er i 2012 intet, der tyder på, at forskellen i anvendelse af tøjmidler på lokaliteterne har givet anledning til forskellige jorddensiteter.

Jordkemi

Udtagning og analyse af jordprøver

Undersøgelsen omfatter jordprøver, der er udtaget på tre tidspunkter: 1) ved begyndelsen af projektet i oktober/november 2009, umiddelbart før træerne blev plantet på de tre lokaliteter, 2) ved forsøgets opgørelse i oktober 2012, og 3) igen i slutningen af september 2016.

Indledningsvis blev der udtaget jordprøver fra den muld, som blev anvendt i plantehullerne samt fra den råjord, som omgav de etablerede plantehuller. De prøver, der blev udtaget i starten er beskrevet mere detaljeret i ovenstående afsnit om tekstur.

Ved opgørelserne i 2012 og 2016 blev der udtaget jordprøver med jordspyd fra de etablerede plantehuller. For at undgå at ødelægge det udstyr, der er installeret i jorden i nogle af bedene, blev jordprøverne udtaget fra plantebede uden installationer. På ØA blev prøverne taget fra træ nr. 101 – 108, i FÆ 7 – 9 og på CB træ 109 – 114. Prøverne blev udtaget den 3. oktober i 2012 og den 30. september i 2016. Prøverne blev udtaget med jordspyd i dybderne: 0 - 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm og 30 – 50 cm. For hvert træ på den angivne lokalitet blev der taget fire jordprøver rundt om træet. Prøverne blev taget med en afstand til stammen på 60 til 80 cm, lige inden for drænrøret og uden for den oprindelige rodklump. Jordprøverne fra de forskellige stik fra det enkelte træ blev slået sammen for hver dybde (blandet grundigt sammen i en plastspand) til én prøve pr. dybde. Jordprøverne blev tørret ved 55 °C, indtil de havde en konstant vægt. Jordprøverne blev efterfølgende sigtet gennem en 2 mm-sigte og blandet grundigt, før en delprøve blev udtaget til de kemiske analyser.

Koncentrationen af totalindholdet af C og N blev målt ved Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Jordprøverne blev ekstraheret med svovlsyre (0,1 M H₂SO₄, Plantedirektoratet, 1994) og koncentrationen af P blev bestemt i ekstraktet ved FIA (Perkin Elmer, UV/VIS spectrometer, Lambda 2). Jordprøverne blev også ekstraheret med 1 M NH₄NO₃ for at bestemme koncentrationen af både ombyttelige ioner fra kationbytterkomplekset og tilgængelige ioner fra jordvæsken (Stuanes et al. 1984). Denne ekstraktion regnes for at bestemme den umiddelbart tilgængelige fraktion af ioner i jorden, i modsætning til de stoffer der er bundet i mineralerne eller organisk stof. Ekstraktet blev analyseret for koncentrationen af kationer af: K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al og Na ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000 XL). Glødetabet (Loss Of Ignition: LOI) blev målt ved 400 °C for de prøver der blev udtaget i 2012. Jordens surhed blev bestemt ved forskellige ekstraktioner: vand, (pHH₂O) og calciumklorid (pHCaCl₂, 0,1 M) (ICP Forests, 2010) med Meterlab, PHM standard pH-meter (elektrode: Radiometer analytisk, type: Kombineret pH-elektrode Red Rod pH2401-8). Den frie aciditet (EA) er et udtryk for jordens indhold af syre ved den pågældende pH, og jordens EA indgår i beregningen af jordens basemætning. Den

blev ikke bestemt ved måling, da den er forsvindende lille pga. jordens høje pH. Kationbytterkapaciteten (CEC) angiver mængden af ombyttelige kationer ved den pågældende pH. CEC blev bestemt i henhold til ICP Forests (2010). Resultaterne af analyserne fremgår af Tabel 2 til 8. I nedenstående er resultaterne blevet sammenlignet med data fra en undersøgelse af jordbundskemien på Krinsen, Kongens Nytorv, da Krinsen, i lighed med ØA, aldrig har fået vejsalt og også er tilplantet med lind. Endvidere er resultaterne perspektiveret med data fra relevant litteratur. Herunder er anbefalinger fra bl.a. Bühler (2012) og Holgersen (1994) angivet. Disse anbefalinger er ofte baseret på anbefalinger til jorde med landbrugsafgrøder fra Plantedirektoratet, og kan derfor anses for at være relativt høje i relation til jorder med bytræer.

Tabel 2: Koncentrationen af Total C, N, C/N-forholdet, ombytteligt (NH_4NO_3 , 1,0 M) K, Ca og Mg, vandekstraherbart Na og Cl samt ESP (exchangeable sodium percentage angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen og ESP anvendes til at angive saltpåvirkningen af en given jord og kationbytterkapaciteten (CEC).

	C	N	C/N	K	Ca	Mg	Na H ₂ O	ClH ₂ O	ESP	CEC
	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)	(meq/kg)
AllétræsMuld										
CB	16,3	0,748	21,9	135	4650	74,5	39,5	40,8	0,595	243
FÆ	14,5	0,660	22,0	105	4720	73,0	44,0	37,0	0,590	246
ØA	17,8	1,07	16,6	587	4558	123	77,3	90,5	1,39	256
Råjord										
CB	9,75	0,655	14,8	75,0	2950	43,0	31,0	23,0	0,785	154
FÆ	6,66	0,724	8,74	153,8	3240	70,4	25,0	10,2	0,442	172
ØA	8,65	0,470	14,6	159,0	4303	68,3	514	175	16,2	258



Installation af måleudstyr på ØA (Foto: Mads Madsen Krag)

Tabel 3: Jordbundsprøvernes koncentration af totalt C, N, C/N-forholdet og glødetabet i 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.Afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne inden for samme lokalitet. Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	C (mg/g)				N (mg/g)				C/N	Glødetab
	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns.	(%)
2012										
Center Boulevard										
0 - 10 cm	11,0 ^{B_b}	7,8	16,3	3,3	0,43 ^{B_b}	0,28	0,68	0,17	26,6 ^{B_a}	1,33
10 - 20 cm	26,5 ^a	23,2	29,0	2,2	1,15 ^a	0,91	1,28	0,13	23,2 ^{A_b}	3,19
20 - 30 cm	28,0 ^{A_a}	24,6	30,5	2,3	1,24 ^a	1,06	1,41	0,14	22,6 ^{A_b}	3,41
30 - 50 cm	26,9 ^a	24,3	29,8	2,1	1,16 ^a	1,08	1,31	0,09	23,2 ^{A_b}	3,25
Fælledparken										
0 - 10 cm	24,2 ^A	21,4	25,8	2,4	1,03 ^A	0,94	1,09	0,08	23,4 ^B	3,07
10 - 20 cm	24,7	24,2	25,1	0,4	1,10	1,05	1,14	0,05	22,4 ^A	3,16
20 - 30 cm	24,8 ^A	24,3	25,1	0,5	1,10	1,02	1,16	0,07	22,6 ^A	3,15
30 - 50 cm	23,9	22,0	25,9	2,0	1,09	1,05	1,11	0,03	22,0 ^A	3,53
Øster Allé										
0 - 10 cm	9,3 ^{B_b}	8,2	10,5	0,8	0,14 ^{C_b}	0,10	0,19	0,03	71,0 ^{A_a}	0,83
10 - 20 cm	23,9 ^a	17,1	31,4	4,2	1,23 ^a	0,99	1,56	0,20	19,5 ^{B_b}	2,66
20 - 30 cm	20,1 ^{B_a}	15,5	25,0	2,9	1,26 ^a	1,18	1,34	0,06	15,9 ^{B_b}	2,84
30 - 50 cm	21,8 ^a	7,6	27,4	6,5	1,25 ^a	0,72	1,44	0,23	17,0 ^{B_b}	2,77
2016										
Center Boulevard										
0 - 10 cm	11,0 ^{A_b}	6,8	16,7	4,1	0,45 ^{B_b}	0,25	0,79	0,24	26,3	
10 - 20 cm	24,9 ^a	19,9	29,2	3,0	1,08 ^a	0,87	1,29	0,14	23,1	
20 - 30 cm	28,8 ^{A_a}	24,0	31,0	2,6	1,26 ^a	1,11	1,33	0,08	22,9 ^A	
30 - 50 cm	26,5 ^a	23,8	28,2	1,7	1,17 ^a	1,09	1,33	0,09	22,6 ^A	
Fælledparken										
0 - 10 cm	22,7 ^B	21,6	24,5	1,5	1,05 ^A	1,01	1,08	0,04	21,6	
10 - 20 cm	25,1	23,3	26,1	1,5	1,12	1,04	1,16	0,07	22,5	
20 - 30 cm	25,7 ^{AB}	24,5	26,4	1,1	1,14	1,09	1,19	0,05	22,6 ^A	
30 - 50 cm	26,1	25,0	27,2	1,1	1,17 [↑]	1,13	1,21	0,04	22,3 ^A	
Øster Allé										
0 - 10 cm	15,0 ^{A_b} [↑]	11,9	20,1	2,6	0,62 ^{B_b} [↑]	0,38	1,04	0,25	26,1 ^a [↓]	
10 - 20 cm	21,3 ^{ab}	11,3	28,0	7,3	1,11 ^a	0,44	1,52	0,38	20,1 ^b	
20 - 30 cm	21,2 ^{B_{ab}}	10,7	28,0	6,7	1,26 ^a	0,94	1,48	0,19	16,5 ^{B_b}	
30 - 50 cm	24,1 ^a	11,2	30,7	6,4	1,34 ^a	0,77	1,60	0,28	17,7 ^{B_b}	

Kulstof (C)

Koncentrationen af C varierer en del, og er signifikant lavere i dybden 0 – 10 cm end i de dybere jordlag på både CB og ØA i 2012 og 2016 (tabel 3). Dette skyldes formodentlig, at det øverste jordlag er C-fattigt slotsgrus. C-koncentrationen er lavere i råjorden end i AllétræsMuld'en (tabel 2).

Koncentrationen af C er signifikant højere i det øverste jordlag (10 – 20 cm) i FÆ end på ØA og CB. Årsagen til dette er sandsynligvis, at der mere slotsgrus i dette lag på ØA og CB end i FÆ. Koncentrationen af C er signifikant mindre på ØA end på CB og i FÆ i dybden 20 – 30 cm. Denne forskel kan ikke umiddelbart forklares ud fra kendskab til anlægsmæssige forskelle eller forskelle i teksturen mellem lokaliteterne, men det stemmer godt overens med, at glødetabet også er lavere her. For koncentrationen af C er det det samme mønster der går igen i 2016. der er kun et sted hvor koncentrationen af C er signifikant anderledes i 2016 end i 2012 og det er i det øverste jordlag på ØA. Dette kan skyldes en opbygning af organiske stof som følge af nedbrydningen af formiat, men det kan også skyldes tilfældigheder.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket C-koncentrationen i mulden. Med den ene undtagelse, at tilførslen af kaliumformiat kan have medført en øget C-koncentration i det øverste jordlag (0-10 cm) på ØA i 2016.

Der findes ikke anbefalinger for den totale koncentration af C i jord i urbane plantebede til vejtræer. Til sammenligning varierede C-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen mellem 15,1 og 26,7 mg C/g med en middelværdi på 20 mg C/g (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden, som på CB, ØA og i FÆ i dybder under 10 cm.

Kvælstof (N)

N-koncentrationerne følger generelt C-koncentrationernes mønster og variationen kan forklares på samme måde (Tabel 3). For både CB og ØA er N-koncentrationen signifikant lavere i det øverste jordlag (0-10 cm) i forhold til de dybere jordlag, hvilket kan forklares ved den store andel af N-fattigt slotsgrus i det øverste jordlag. At dette ikke ses i FÆ må skyldes, at laget med slotsgrus reelt er tyndere i FÆ.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem lokaliteterne har tilsyneladende ikke påvirket N-koncentrationen i mulden.

Der findes ikke anbefalinger for den totale koncentration af N i jord i urbane plantebede til vejtræer. N-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra

Krinsen varierede mellem 0,92 og 1,23 mg N/g med en middelværdi på 0,92 mg N/g (Ingerslev et al. 2012), altså lidt mindre eller i samme størrelsesorden, som på lokaliteterne i forhåndenværende undersøgelse i dybder under 10 cm. Til sammenligning angiver Solum, at deres produkt ”Svær SuperMuld”, som anbefales til vejtræer og vejrabatter, har en total koncentration af N på 0,92 g N/kg, hvilket også er lidt under det, som er målt i FÆ eller på CB og ØA i dybder under 10 cm. Hvis vi sammenligner N-koncentrationen, som vi finder her med N-koncentrationerne i skovjorde, ligger vi inden for den samme størrelsesorden som de mere næringsstofrige skovjorder. På trods af, at den totale koncentration af N ikke kan sammenlignes med nitrattallet (Nit), skal det nævnes, at Bühler (2012) og Holgersen (1994) angiver, at nitrattallet bør ligge inden for intervallet 0,050 – 0,150 g NO₃-N/kg. I jorde med et relativt højt indhold af organisk materiale er den totale koncentration af N ofte væsentligt højere end Nit. Der er intet der peger på at denne jord skulle give problemer med N-forsyningen.

Kulstof (C) / kvælstof (N)-forholdet

C/N-forholdet (Tabel 3) er en indikator for, hvor let jordens mikroorganismer har ved at omsætte (mineralisere) jordens organiske stof. Når C/N-forholdet er lavt, gerne under 20, altså med et relativt højt N-indhold, øges den mikrobielle omsætning. C/N-forholdet varierer i denne undersøgelse en del på ØA i både 2012 og 2016, mens den er noget mere konstant på CB og i FÆ. Der er ikke signifikant forskel på C/N-forholdet imellem CB og FÆ i hverken 2012 eller 2016. I FÆ er der ikke signifikant forskel på C/N-forholdet imellem de forskellige dybder. For ØA og CB er situationen en anden, her er C/N-forholdet signifikant højere i de øverste 10 cm, mens det er signifikant lavere i de dybere jordlag sammenlignet med de to andre lokaliteter. Denne forskel på C/N-forholdet mellem lokaliteterne ses også i analyseresultaterne fra de jordbundsprøver af AllétræsMuld'en, som blev taget, inden træerne blev plantet (Tabel 2). På hverken ØA eller CB er der signifikant forskel på C/N-forholdet i jordbundsprøver taget fra jordlag under 10 cm. Årsagen til denne forskel mellem lokaliteterne stemmer godt overens med, at muldjorden, som er anvendt på ØA, fra starten havde et lidt lavere C/N-forhold på 16,6 i forhold til CB og FÆ, der havde et C/N-forhold på hhv. 21,9 og 22,0.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket C/N-forholdet i mulden tydeligt. Med den ene undtagelse at tilførslen af Kaliumformiat kan have medført et sænket C/N-forhold i det øverste jordlag (0-10 cm) på ØA i 2016.

Der findes ikke anbefalinger til C/N-forholdet, men værdierne er så relativt lave, at man må skønne, at det organiske stof kan omsættes relativt let. C/N-forholdet i jordprøverne fra Krinsen varierer mellem 18,0 og 35,7 med en middelværdi på 23,6. Værdier for Krinsen er således i samme størrelsesorden eller lidt højere end i den foreliggende undersøgelse.

Glødetabet

Variationen i glødetabet følger variationen i C-koncentrationen (Tabel 3). Dette er et generelt mønster, som er observeret ofte. Af samme grund er der ikke foretaget glødetabsbestemmelse på alle prøverne men kun på sammenslåede prøver, og der kan derfor heller ikke laves statistiske tests på data fra glødetabsanalyserne.

Glødetabet er lavest i toppen, lavere for ØA end for CB og FÆ. I dybder under 10 cm er glødetabet relativt konstant og lavere på ØA end på CB og i FÆ. Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket glødetabet i mulden tydeligt i 2012. Der findes ikke anbefalinger for glødetabet i jord i urbane plantebede. I undersøgelsen af jorden ved Krinsen var glødetabet af samme størrelsesorden og varierede fra 1,18 % op til 3,04 % med en middelværdi på 2,24 %.

Tabel 4: Jordbundsprøvernes koncentration af ekstraherbart P (0,1 M H₂SO₄) og ombytteligt (NH₄NO₃, 1,0 M) K og Ca i 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.Afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Bemærkes, at P-koncentrationen ikke må forveksles med fosfortallet (Pt). Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	P (mg/kg)				K (mg/kg)				Ca (mg/kg)			
	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.
2012												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	204 ^A _a	201	207	2,32	52,6 ^B	39,9	71,7	10,7	3916 _b	3711	4132	168
10 - 20 cm	199 ^A _b	196	201	1,70	49,1 ^B	43,0	58,5	5,7	4345 ^A _a	4103	4503	154
20 - 30 cm	199 ^A _b	198	199	0,48	56,7 ^B	39,6	71,7	12,3	4459 ^A _a	4240	4675	189
30 - 50 cm	199 ^A _b	197	199	0,67	67,5 ^B	51,5	93,3	18,3	4471 ^A _a	4262	4778	190
Fælledparken												
0 - 10 cm	192 ^B	184	197	6,62	69,0 ^{AB}	64,2	73,9	4,8	4134	4044	4252	107
10 - 20 cm	194 ^B	191	196	2,75	67,1 ^{AB}	60,4	76,7	8,5	4299 ^{AB}	4237	4383	75
20 - 30 cm	195 ^{AB}	193	196	1,84	68,4 ^B	68,1	68,5	0,2	4291 ^{AB}	4262	4314	27
30 - 50 cm	196 ^B	195	196	0,62	73,3 ^B	62,6	89,0	13,9	4307 ^{AB}	4244	4359	58
Øster Allé												
0 - 10 cm	208 ^A _a	201	211	3,16	74,9 ^A _b	50,7	109,5	18,8	3951	3663	4182	168
10 - 20 cm	200 ^A _b	197	201	1,31	75,2 ^A _b	44,1	104,7	21,6	4013 ^B	3710	4444	250
20 - 30 cm	194 ^B _c	184	197	4,20	116,1 ^A _a	84,4	161,8	25,8	3928 ^B	3630	4499	289
30 - 50 cm	196 ^B _{bc}	193	198	1,93	122,9 ^A _a	76,9	155,5	28,5	3763 ^B	2689	4334	478
2016												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	324 ^{AB} _a ↑	287	350	23,41	69,5 ^B ↑	53,1	88,9	11,6	6544	2932	23859	8483
10 - 20 cm	264 ^{AB} _b	210	365	53,43	68,6 ^C ↑	57,1	83,7	10,1	10753	3421	25462	11146
20 - 30 cm	231 _b	197	250	18,35	69,2 ^C ↑	64,3	78,0	4,6	5124	3626	11785	3265
30 - 50 cm	232 _b	206	275	29,61	70,3 ^B	64,2	85,9	7,9	3715↓	3536	4060	208
Fælledparken												
0 - 10 cm	283 ^B ↑	256	298	23,30	271,3 ^A ↑	180,8	335,4	80,6	3391↓	3301	3534	125
10 - 20 cm	239↑	229	246	9,25	389,8 ^A ↑	281,5	471,6	97,8	3401↓	3168	3619	225
20 - 30 cm	245↑	220	277	28,98	496,1 ^A ↑	375,1	627,3	126,4	3571↓	3337	3796	230
30 - 50 cm	287	214	404	102,01	529,5 ^A ↑	365,1	703,9	169,6	3449↓	3038	3772	375
Øster Allé												
0 - 10 cm	342 ^A ↑	285	397	36,56	113,0 ^B ↑	91,4	161,2	21,7	3317↓	3056	3618	202
10 - 20 cm	297↑	216	363	51,80	149,5 ^B ↑	93,7	245,7	60,6	3310↓	2611	3732	338
20 - 30 cm	273↑	176	363	68,43	165,1 ^B	90,0	256,3	63,5	3142↓	1455	3853	851
30 - 50 cm	292↑	136	356	77,30	142,9 ^B	78,3	222,2	41,3	3270	2092	3674	494

Fosfor (P)

I 2012 varierer Gennemsnitskoncentrationen af P relativt lidt mellem 192 og 208 mg P/kg, med de højeste koncentrationer i den laveste dybde (0 – 10 cm) på CB og ØA. Koncentrationen af P er signifikant højere på CB og ØA i 0 – 20 cm dybde i forhold til i FÆ (Tabel 4). Årsagen til dette kan måske være afslidt dækmateriale fra trafikken på CB og ØA. Denne hypotese bliver bekræftet af at P-koncentrationen stiger signifikant fra 2012 til 2016, og at disse stigninger igen er mest markant på CB og ØA, selvom der også sker en signifikant stigning i FÆ. Generelt er forskellene mellem lokaliteterne mindre signifikante i 2016 i forhold til i 2012. I dybderne 20 – 50 cm er P-koncentrationen ofte signifikant højere på CB sammenlignet med i FÆ og på ØA. I FÆ er der ikke signifikant forskel på P-koncentrationerne mellem de forskellige dybder i 2012, men ved ØA og CB sker der et signifikant fald under 10 cm.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket P-koncentrationen i mulden tydeligt. Alt tyder på at P-koncentrationen er mere styret af P-tilførslen fra forurening med P fra trafikken (afslidt dækmateriale). Til sammenligning varierede P-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen betydeligt mere; mellem 156 og 676 mg P/kg med en middelværdi på 340 mg P/kg (Ingerslev et al. 2012). P-koncentrationerne er således i nogle tilfælde noget højere i jorderne ved Krinsen sammenlignet med datamaterialet i det forhåndenværende studie. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt lavere P-koncentrationer på omkring 148 mg/ kg (Pedersen et al, 2001). Holgersen (1994) anbefaler, at fosforsyretallet (Ft) skal ligge mellem 6 og 8 eller højere, hvilket svarer til en P-koncentration på 180 – 240 mg P/kg. Alle de målte P-koncentrationer ligger således inden for eller over det anbefalede interval.

Kalium (K)

I alle jordlagene er der ikke signifikant forskel på K-koncentrationen mellem lokaliteterne både i 2012 og i 2016 (Tabel 4). K-koncentrationen på ØA signifikant højere end ved CB og noget højere end FÆ i 2012. K-koncentrationen er markant højere i den AllétræsMuld, som blev analyseret på ØA, inden træerne blev plantet, sammenlignet med CB og FÆ (Tabel 2). K-koncentrationen er generelt noget lavere ved analyserne i 2012, sandsynligvis på grund af, at den AllétræsMuld, som vi analyserede i starten, på dette tidspunkt er blevet blandet mere eller mindre op med anden jord med lavere K-koncentration ved plantning af træerne. På CB og i FÆ er der ikke signifikant forskel på K-koncentrationerne mellem de forskellige dybder i 2012, men ved ØA sker der på dette tidspunkt en signifikant stigning ved dybere jordlag end 20 cm. Den mængde K, som er blevet tilført om vinteren på ØA op til 2012, er tilsyneladende blevet udvasket fra de øverste jordlag (0 – 20 cm) til de dybere jordlag, da der ikke er signifikant forskel på K-koncentrationerne i de øverste jordlag. I perioden fra 2012 til 2016 sker der en signifikant stigning af K-koncentrationen på både CB og ØA i de øverste jordlag. Denne stigning er dog

mindre udtalt på CB i forhold til ØA. På CB skyldes stigningen sandsynligvis tilførsel med luftforurening, hvor det omfattende byggearbejde omkring CB måske kan have spillet en rolle. K-koncentrationen i alle jordlag stiger signifikant i FÆ pga. den store dosering i vinteren 13/14, så K-koncentrationen i 2016 i alle jordlag er signifikant højere end ved de to andre lokaliteter.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende hævet K-koncentrationen i mulden tydeligt ved anvendelsen af kaliumformiat. Denne effekt af kaliumformiat påvirker efter få år jordlagene ned til 50 cm's dybde og sandsynligvis også dybere. Alt tyder på, at K-koncentrationen også er påvirket af forurening med K fra omgivelserne.

Ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen fandt man, at K-koncentrationen varierede fra 36,6 til 97,3 mg K/kg med en middelværdi på 59,7 mg K/kg (Ingerslev et al. 2012) altså lavere K-koncentrationer end i den foreliggende undersøgelse. I Holgersen (1994) og Bühler (2012) anbefales det, at kaliumtallet (Kt) skal ligge mellem 7 og 10, hvilket svarer til en K-koncentration på 70 – 100 mg K/ kg. Det skal her bemærkes, at Holgersen (1994) og Bühler (2012) i store træk baserer deres anbefalinger på Plantedirektoratets anbefalinger til landbruget, og at anbefalingerne vedrører de øverste 0-20 cm jord. Man kan ikke direkte sammenligne K-koncentrationer baseret på Kt og de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelse af Kt benyttes hhv. 0,5 og 1,0 M ammoniumacetat, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumacetat giver højere koncentrationer af ombytteligt K, sammenlignet med ekstraktion med ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at hovedparten af K-koncentrationerne i 2012 i jordbundsprøverne fra CB og FÆ samt i 0 – 20 cm på ØA, ligger i, under eller i den nederste del af det anbefalede interval, mens K-koncentrationen i dybderne 20 – 50 cm på ØA ligger over det anbefalede interval i 2012. De høje K-koncentrationer kan give anledning til ubalanceret planteernæring, hvis optaget af andre næringsstoffer bliver hæmmet (herunder optaget af Ca og Mg). I 2016 kommer K-koncentrationerne på CB tættere på de anbefalede K-koncentrationer. Mens man på ØA og specielt i FÆ kan fremføre et argument om, at de høje K-koncentrationer her kan give potentiel risiko for en ubalanceret planteernæring hos træerne, hvis tilgængeligheden af de øvrige næringsstoffer er begrænset.

Calcium (Ca)

Koncentrationen af ombytteligt Ca (ekstraheret med 1,0 M ammoniumnitrat) er målt (Tabel 4). Koncentrationen af Ca i 2012 er signifikant højere på CB end på ØA i dybder under 10 cm, mens de tilsvarende Ca-koncentrationer i FÆ ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter. På CB er der i 2012 signifikant forskel på Ca-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, hvor koncentrationen er signifikant

lavest i det øverste jordlag (0-10 cm), og stiger herunder. Ved starten af forsøget var Ca-koncentrationen noget højere i AllétræsMuld'en end ved prøveudtagning i 2012. Dette er her mest udtalt for FÆ og ØA (Tabel 2). Årsagen er sandsynligvis igen, at den AllétræsMuld, som vi analyserede i starten, er blevet blandet mere eller mindre op med anden jord med en lavere koncentration ved plantning af træerne, samt at der er sket en udvaskning i løbet af forsøgsperioden. Den forskel, der observeres mellem ØA og CB i 2012, kan ikke forklares ved, at der oprindeligt var forskel i Ca-koncentrationerne mellem den plantemuld, der blev benyttet ved tilplantningen på de forskellige lokaliteter (Tabel 2). En forklaring på hvorfor Ca-koncentrationen er faldet, og nu er signifikant lavere på ØA end på CB kan være at den tilførte mængde K med kaliumformiat kan have givet anledning til ionbytning og udvaskning af Ca, men det virker ikke den mest sandsynlige grund, da den tilførte Na med saltningen på CB også vil have denne effekt, og den ser vi ikke her. På lignende vis burde denne effekt også kunne ses på Mg-koncentrationen, og her udebliver den også. En anden og mere sandsynlig forklaring er at der på ØA og FÆ sker en løbende udvaskning af Ca, mens der på grund af de omfattende byggeaktiviteter ved CB sker en stor tilførsel af Ca-holdigt partikulært byggemateriale, som nedvaskes i jorden og øger koncentrationen på CB i 2016. Den stigning der finder sted her er dog ikke signifikant, pga. meget store variationer men resultaterne viser en klar tendens til stigende Ca-koncentrationer på CB i jordlag over 30 cm dybde, i modsætning til de signifikante fald ved ØA og FÆ i perioden fra 2012 til 2016.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke haft nævneværdig indflydelse på Ca-koncentrationen i mulden. Alt tyder til gengæld på at Ca-koncentrationen kan påvirkes af Ca-tilførslen fra forurening med Ca-holdige partikler fra omfattende byggeaktiviteter.

Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Ca-koncentrationen varierede fra 3913 til 4691 mg Ca/kg med en middelværdi på 4309 mg Ca/kg (Ingerslev et al. 2012), altså samme størrelsesorden som i den foreliggende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt Ca-koncentrationer i samme størrelsesorden, omkring 4265 mg Ca/kg (Pedersen et al, 2001). I Holgersen (1994) og Bühler (2012) anbefales det, at calciumtallet (Cat) skal ligge mellem 100 og 200, hvilket svarer til en Ca-koncentration på 1000 – 2000 mg Ca/kg. Man kan ikke direkte sammenligne Ca-koncentrationer baseret på Cat, og de koncentrationer som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelse af Cat benyttes 1,0 M ammoniumklorid, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at Ca-koncentrationerne i de undersøgte jordprøver fra både CB, FÆ og ØA er bemærkelsesværdige høje, og i visse tilfælde mere end dobbelt så høje som den øverste grænseværdi i anbefalingerne. I naturlige jorde er variationen dog stor og svinger ofte mellem 500 og 5000 mg Ca/kg, og endnu lavere i Vestjylland, helt ned

til 20 mg Ca/kg. Alle lokaliteter ligger inden for dette interval, på nær to dybder på CB i 2016.

Tabel 5: Jordbundsprøvernes koncentration ombytteligt (NH₄NO₃, 1,0 M) Mg, Fe og Mn i 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.Afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne inden for samme lokalitet. Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	Mg (mg/kg)				Fe (mg/kg)				Mn (mg/kg)			
	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.
2012												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	46,6 ^B _b	38,0	60,0	8,7	1,55 ^A _b	1,40	1,77	0,17	7,88 ^B _b	6,43	9,75	1,33
10 - 20 cm	73,8 _a	64,9	79,7	5,1	2,24 ^A _a	1,90	2,39	0,17	8,75 ^B _{ab}	7,84	9,51	0,79
20 - 30 cm	85,2 _a	76,1	107,3	11,5	2,30 ^A _a	1,94	2,64	0,23	8,81 ^A _{ab}	6,96	10,40	1,39
30 - 50 cm	85,1 ^A _a	72,5	97,7	9,9	2,23 ^A _a	2,02	2,44	0,15	10,25 ^A _a	8,47	12,89	1,56
Fælledparken												
0 - 10 cm	61,2 ^A	55,2	66,7	5,8	1,17 ^{AB}	0,68	1,91	0,65	11,66 ^A	10,40	13,37	1,53
10 - 20 cm	73,2	63,7	83,5	10,0	1,09 ^B	0,66	1,71	0,55	10,67 ^A	10,17	11,27	0,56
20 - 30 cm	68,0	60,1	79,0	9,9	0,88 ^B	0,69	1,12	0,21	10,27 ^A	8,87	11,22	1,24
30 - 50 cm	63,7 ^B	57,0	73,4	8,6	0,93 ^B	0,74	1,19	0,23	11,58 ^A	10,37	12,81	1,22
Øster Allé												
0 - 10 cm	42,9 ^B _c	35,8	47,8	4,3	0,50 ^B _b	0,20	1,43	0,54	2,62 ^C _b	1,44	3,76	0,80
10 - 20 cm	74,2 _b	54,9	98,0	15,9	1,21 ^B _a	0,71	2,13	0,48	7,58 ^B _a	5,91	8,52	0,94
20 - 30 cm	92,0 _a	73,8	116,0	15,8	0,97 ^B _{ab}	0,46	1,83	0,50	6,41 ^B _a	4,27	7,46	1,05
30 - 50 cm	95,4 ^A _a	73,9	124,5	15,5	1,13 ^B _{ab}	0,58	2,28	0,54	6,91 ^B _a	5,08	8,85	1,35
2016												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	45,4	29,5	73,0	14,9	1,98 _b	1,64	2,75	0,45	8,68 ^A _a	6,12	10,75	1,64
10 - 20 cm	55,2 _↓	39,4	84,4	18,2	2,80 _a [↑]	2,63	2,94	0,12	6,81 ^A _b _↓	6,08	8,16	0,75
20 - 30 cm	74,2	45,4	102,6	23,0	2,98 _a [↑]	2,54	3,36	0,31	7,20 ^A _{ab} _↓	6,43	8,11	0,73
30 - 50 cm	73,4 ^A	54,4	99,2	16,1	2,86 _a [↑]	2,40	3,20	0,28	7,30 ^A _{ab} _↓	6,51	9,21	0,99
Fælledparken												
0 - 10 cm	51,3 _↓	50,4	51,8	0,7	2,23	2,07	2,42	0,17	6,55 ^{AB} _↓	5,90	7,51	0,85
10 - 20 cm	45,3 _↓	42,4	46,9	2,6	2,66 [↑]	2,30	3,24	0,51	6,29 ^{AB} _↓	5,85	6,85	0,51
20 - 30 cm	47,9 _↓	43,3	52,2	4,4	3,12 [↑]	2,76	3,78	0,57	6,64 ^{AB} _↓	6,29	7,20	0,49
30 - 50 cm	47,9 ^B	42,4	57,1	8,0	3,26 [↑]	2,80	3,77	0,49	6,12 ^{AB} _↓	5,73	6,72	0,53
Øster Allé												
0 - 10 cm	61,2 [↑]	45,6	76,7	9,8	1,81 [↑]	1,61	2,29	0,23	4,52 ^B [↑]	1,88	5,96	1,35
10 - 20 cm	64,6	55,1	77,8	6,4	2,46 [↑]	1,51	3,06	0,54	5,30 ^B _↓	3,64	7,24	1,05
20 - 30 cm	68,6 _↓	57,0	98,9	13,0	2,26 [↑]	0,91	3,44	0,82	5,29 ^B _↓	4,33	6,93	0,90
30 - 50 cm	65,5 ^{AB} _↓	53,8	87,7	9,9	2,73 [↑]	1,15	3,42	0,77	5,17 ^B _↓	4,71	5,82	0,33

Magnesium (Mg)

Koncentrationen af Mg er i 2012 signifikant forskellig mellem lokaliteterne i den øverste (0-10 cm) og den dybeste af de analyserede jordlag (30 – 50 cm), hvor Mg-koncentrationen er signifikant højere på ØA i forhold til i CB i de dybe jordlag, mens det er FÆ der har de højeste koncentrationer i de øverste jordlag (Tabel 5).

Koncentrationen af Mg er i 2016 kun signifikant forskellig mellem lokaliteterne i den dybeste af de analyserede jordlag (30 – 50 cm), hvor Mg-koncentrationen fortsat er signifikant højere på ØA i forhold til i FÆ, mens CB ikke adskiller sig signifikant fra ØA på nogle af tidspunkterne. Mg-koncentrationen falder mest udtalt i FÆ i perioden fra 2012 til 2016. Disse forskelle kan ikke umiddelbart forklares på anden måde, end at plantemulden har været forskellig på de to forskellige lokaliteter. Mg-koncentrationen er da også højere på ØA ved starten af forsøget i forhold til CB og FÆ (Tabel 5). I FÆ er der i 2012 ikke signifikant forskel på Mg-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA og CB sker der ofte en signifikant stigning i Mg-koncentrationen ned gennem dybden. I 2016 er der ikke signifikante forskelle mellem dybderne på nogen af lokaliteterne.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke haft nævneværdig indflydelse på Mg-koncentrationen i mulden.

Til sammenligning ligger Mg-koncentrationen ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen mellem 24,7 og 88,5 mg Mg/kg med en middelværdi på 45,0 mg Mg/kg (Ingerslev et al. 2012), altså ofte lavere end i den forhåndenværende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der til sammenligning målt noget lavere Mg-koncentrationer, omkring 30 mg Mg/kg (Pedersen et al, 2001). Bühler (2012) og Holgersen (1994) anbefaler, at magnesiumtallet (Mgt) skal ligge mellem 5 og 8, hvilket svarer til en Mg-koncentration på 50 – 80 mg Mg/kg. Man kan igen ikke direkte sammenligne Mg-koncentrationer baseret på Mgt med de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Som ved Kt bestemmes Mgt ved at benytte hhv. 0,5 og 1,0 M ammoniumacetat, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumacetat giver højere koncentrationer af ombytteligt Mg sammenlignet med ekstraktion med ammoniumnitrat. Med forbehold for disse forskelle indikerer resultaterne, at langt hovedparten af Mg-koncentrationerne i prøverne fra CB, FÆ og ØA ligger inden for eller over det anbefalede interval.

Jern (Fe)

Koncentrationen af Fe er signifikant højere på CB end på ØA og i FÆ i alle dybder i 2012, med undtagelse af 0 – 10 cm hvor der ikke er forskel mellem CB og FÆ (Tabel 5). Disse forskelle kan ikke umiddelbart forklares ved anvendelse af forskellige tømidler. I 2012 er der på CB og ØA signifikant forskel på Fe-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, således at den laveste koncentration

findes i det øverste jordlag. I 2016 er de signifikante forskelle mellem lokaliteterne forsvundet og forskellen mellem dybderne er nu kun signifikant på CB. Til gengæld er Fe-koncentrationen steget i alle dybder og på alle lokaliteter på nær det øverste jordlag på CB. Dette peger på, at der sker en kontinuert tilførsel af Fe fra det omgivende miljø.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke haft nævneværdig indflydelse på Fe-koncentrationen i mulden. Alt tyder til gengæld på, at Fe-koncentrationen kan påvirkes af Fe-tilførslen fra luftforurening fra omgivelserne.

Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Fe-koncentrationen varierede fra <0,25 til 0,98 mg Fe/kg med en middelværdi på 0,545 mg Fe/kg (Ingerslev et al. 2012), altså noget lavere eller i samme størrelsesorden som det der er målt i den foreliggende undersøgelse. Bühler (2012) skriver, at man på planteskolerne tilstræber en Fe-koncentration på 2 – 6 mg Fe/kg. Alle jordprøverne fra CB, FÆ og ØA ligger under eller i den nederste del af dette interval.

Mangan (Mn)

Koncentrationen af Mn er signifikant lavere i alle dybder på ØA i forhold til på CB og i FÆ, på nær én dybde hvor CB og ØA ikke er signifikant forskellige (10-20 cm, Tabel 5). Disse forskelle kan ikke umiddelbart forklares ved anvendelse af forskellige tømidler. I FÆ er der ikke signifikant forskel på Mn-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men på ØA og CB sker der en signifikant stigning i Mn-koncentrationen ved dybder under 10 cm på ØA og tilsvarende under 30 cm på CB. Disse signifikante forskelle over dybderne er forsvundet på ØA i 2016, mens de på CB er blevet omvendt men stadig signifikante, nu med den største koncentration øverst. I 2016 er det meget tydeligt at koncentrationen af ombytteligt Mn er faldet signifikant i alle dybder og på alle lokaliteter, på nær det øverste jordlag på CB, hvor den er uændret, men med en stigende tendens. Hvorvidt dette har en sammenhæng med den lave Mn-status som ofte observeres i bladene hos by-træer er svært at sige.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke haft nævneværdig indflydelse på Mn-koncentrationen i mulden. Alt tyder til gengæld på at Mn-koncentrationen er faldende over tid.

Ved undersøgelsen af jorden fra Krinsen fandt man, at Mn-koncentrationen varierede fra 2,37 op til 10,81 mg Mn/kg med en middelværdi på 5,22 mg Mn/kg (Ingerslev et al. 2012), altså ofte lidt under det som er observeret i den foreliggende undersøgelse. Ved en undersøgelse af jorden på Frederiksberg Allé er der målt Mn-koncentrationer i samme størrelsesorden eller lidt højere, mellem 9 og 21 mg Mn/kg (Pedersen et al, 2001). Bühler (2012) anbefaler, at mangantallet (Mnt) skal ligge mellem 2 og 5

hvilket svarer til en Mn-koncentration på 10 – 25 mg Mn/kg. Man kan igen ikke direkte sammenligne Mn-koncentrationer baseret på Mnt med de koncentrationer, som vi har bestemt i dette studie, da ekstraktionen foretages med forskellige stoffer. Ved bestemmelsen af Mnt benyttes 0,5 M Magnesiumnitrat, mens der i dette studie benyttes ammoniumnitrat. Det er sandsynligt, at ekstraktion med ammoniumnitrat giver lavere koncentrationer af ombytteligt Mn sammenlignet med ekstraktion med magnesiumnitrat. Med forbehold for disse forskelle viser resultaterne, at prøverne fra CB, ØA og FÆ ligger under eller i den nederste del af det anbefalede interval for Mn-koncentrationen.

Tabel 6: Jordbundsprøvernes koncentration af vand-ekstraherbart Na og Cl. ESP angiver den udbyttelige andel af Na i forhold til koncentrationen af udbytteligt Ca, Mg, K og Na tilsammen (exchangeable sodium percentage). I 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. ESP anvendes til at angive saltpåvirkningen af en given jord. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.A.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne inden for samme lokalitet. Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	Na _{H2O} (mg/kg)				Cl _{H2O} (mg/kg)				ESP (%)			
	Gns	Min	Max	Std.a	Gns	Min	Max	Std.a	Gns	Min	Max	Std.a
2012												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	39,2 ^A	19,2	66,2	18,7					0,80 _a	0,46	1,30	0,30
10 - 20 cm	78,0 ^A	34,7	100,1	24,6	36,66 ^A	16,64	71,36	21,05	1,58 ^A _b	1,30	1,94	0,23
20 - 30 cm	73,1 ^A	33,3	118,4	32,2	44,12 ^A	2,96	82,36	29,13	1,42 ^A _{ab}	0,80	2,42	0,56
30 - 50 cm	54,8 ^A	19,6	99,1	28,8	29,86	9,40	64,72	22,11	1,32 ^A _{ab}	0,86	1,91	0,38
Fælledparken												
0 - 10 cm	22,3 ^{AB} _b	19,1	24,8	2,9	23,38	6,77	39,99	23,49	0,70	0,42	1,03	0,31
10 - 20 cm	32,4 ^B _a	27,4	36,3	4,6	17,21 ^{AB}	9,76	27,05	8,89	0,61 ^B	0,41	0,78	0,19
20 - 30 cm	29,5 ^B _{ab}	26,3	34,9	4,7	21,11 ^{AB}	15,89	25,88	5,01	0,69 ^B	0,54	0,85	0,16
30 - 50 cm	26,2 ^{AB} _{ab}	24,9	27,0	1,2	18,82	16,13	23,40	3,99	0,63 ^B	0,55	0,80	0,14
Øster Allé												
0 - 10 cm	16,4 ^B _b	11,5	21,9	4,0	<0,13	<0,13	<0,13	-	0,47	0,06	0,67	0,24
10 - 20 cm	22,2 ^B _a	19,7	25,4	2,4	4,02 ^B	0,00	7,60	3,82	0,56 ^B	0,31	0,76	0,20
20 - 30 cm	26,5 ^B _a	23,1	37,8	4,8	8,10 ^B	0,76	20,61	7,10	0,64 ^B	0,37	0,86	0,17
30 - 50 cm	25,8 ^B _a	19,8	32,4	4,7	8,57	2,52	12,87	4,49	0,69 ^B	0,45	0,92	0,18
2016												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	11,6 _b ↓	7,0	21,6	5,9	5,35	1,89	11,65	3,77	0,52	0,08	0,86	0,27
10 - 20 cm	30,9 ^A _a ↓	21,2	42,1	7,0	7,86↓	3,59	16,37	4,49	0,72↓	0,14	1,28	0,47
20 - 30 cm	31,6 ^A _a ↓	26,6	44,0	6,4	14,70↓	4,36	24,13	7,38	0,84	0,31	1,24	0,31
30 - 50 cm	27,7 ^A _a	18,8	40,9	9,4	11,28	3,40	19,21	6,42	0,92 ^A	0,74	1,23	0,24
Fælledparken												
0 - 10 cm	6,6 _b ↓	5,3	8,3	1,5	8,16	1,99	16,48	7,48	0,31	0,24	0,38	0,07
10 - 20 cm	11,4 ^B _a ↓	9,1	14,3	2,6	7,48	6,08	10,15	2,31	0,43	0,38	0,49	0,06
20 - 30 cm	11,0 ^B _a ↓	10,4	11,7	0,7	11,35	3,83	18,88	10,64	0,41↓	0,38	0,44	0,03
30 - 50 cm	11,6 ^B _a ↓	11,2	12,3	0,7	3,38↓	2,43	4,33	1,35	0,43 ^B	0,41	0,44	0,02
Øster Allé												
0 - 10 cm	7,5 _b ↓	4,4	12,4	2,4	5,71	1,97	14,91	4,25	0,33	0,22	0,52	0,09
10 - 20 cm	12,5 ^B _{ab} ↓	7,6	19,3	4,0	8,17	2,37	14,51	4,35	0,51	0,36	0,84	0,16
20 - 30 cm	17,3 ^B _a ↓	8,4	30,7	6,8	8,48	2,75	15,36	4,40	0,78	0,34	1,88	0,50
30 - 50 cm	16,8 ^B _{ab} ↓	9,6	26,4	5,6	5,72	1,95	11,84	2,80	0,66 ^{AB}	0,40	1,14	0,23

Tabel 7: Jordbundsprøvernes koncentration ombytteligt (NH_4NO_3 , 1,0 M) Na i 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.Afv: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne inden for samme lokalitet. Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	Na (mg/kg)			
	Gns	Min	Max	Std. Afv.
2012				
Center Boulevard				
0 - 10 cm	37,4 _b	22,4	63,8	14,9
10 - 20 cm	82,5 ^A _a	68,6	96,1	11,3
12 - 30 cm	77,1 ^A _a	41,4	137,9	33,6
30 - 50 cm	71,2 ^A _a	43,9	105,8	23,1
Fælledparken				
0 - 10 cm	34,6	20,3	52,5	16,4
10 - 20 cm	31,1 ^B	21,7	39,9	9,1
12 - 30 cm	35,3 ^B	28,1	43,3	7,6
30 - 50 cm	32,6 ^B	27,8	41,1	7,4
Øster Allé				
0 - 10 cm	21,7	3,1	31,0	10,8
10 - 20 cm	26,8 ^B	16,4	36,2	8,7
12 - 30 cm	30,6 ^B	18,8	38,0	7,5
30 - 50 cm	31,1 ^B	21,0	39,9	7,1
2016				
Center Boulevard				
0 - 10 cm	22,2 ^A _b ↓	16,7	33,3	6,8
10 - 20 cm	43,6 ^A _a ↓	35,0	54,9	6,9
12 - 30 cm	43,0 ^A _a ↓	34,1	57,8	9,1
30 - 50 cm	40,6 ^A _a ↓	31,8	53,0	9,5
Fælledparken				
0 - 10 cm	12,6 ^B	10,3	15,8	2,8
10 - 20 cm	18,4 ^B	15,1	21,6	3,2
12 - 30 cm	18,4 ^B ↓	17,1	19,4	1,2
30 - 50 cm	18,7 ^B ↓	17,0	20,2	1,6
Øster Allé				
0 - 10 cm	13,1 ^B _b ↓	8,7	19,7	3,4
10 - 20 cm	20,0 ^B _{ab}	13,7	27,6	4,7
12 - 30 cm	25,9 ^B _a	15,4	36,7	7,8
30 - 50 cm	25,3 ^B _a	16,2	32,9	6,3

Natrium (Na) og klorid (Cl)

Koncentrationen af Na varierer betydeligt i alle dybder på CB, mens variationen er signifikant men noget mindre på ØA og i FÆ (Tabel 6 og 7). Koncentrationen af vandekstraherbart Na er i 2012 signifikant højere på CB sammenlignet med ØA, mens der ikke er nogen signifikant forskel i Na-koncentrationen mellem FÆ i de midterste jordlag. På CB er der ikke signifikant forskel på Na_{H2O}-koncentrationerne mellem de forskellige dybder, men ved ØA og FÆ sker der en ofte signifikant stigning i Na-koncentrationen ved overgangen fra 0 – 10 cm dybde til dybere jordlag. Forskellene i koncentrationen af ombytteligt Na, viser det samme mønster mellem lokaliteterne med CB som den mest Na-holdige jord. I 2012 i de undersøgte dybder fra 10 – 30 cm på CB har anvendelse af traditionelt salt hævet Na-koncentrationen signifikant i forhold til ØA. Den mængde Na, som er blevet tilført om vinteren på CB, er tilsyneladende ikke blevet udvasket fra de øverste jordlag i 2012. Ud fra disse tal kan man i 2012 karakterisere den nye jord i bedene på ØA og i FÆ som ”meget svagt saltbelastede” mens den nye jord på CB under 10 cm kan karakteriseres som værende ”svagt saltbelastet”. Det er bemærkelsesværdigt at koncentrationen af vandekstraherbart og også i nogle tilfælde ombytteligt Na ofte falder signifikant i perioden fra 2012 til 2016. Dette skyldes på CB sandsynligvis dels anvendelsen af mindre mængder salt i denne periode med varmere vintre og dels måske den ret store mængde Ca som antages tilført i denne periode. På de to andre lokaliteter må man antage at det skyldes almindelig udvaskning sammen med en lav Na-deposition.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende påvirket koncentrationen af både vandekstraherbart og ombytteligt Na. Tilførslen af salt hæver koncentrationen af Na. Alt tyder samtidig på at hvis tilførslen udebliver kan Na udvaskes, specielt hvis der tilføres andre kationer via depositionen, som det er tilfældet med Ca-depositionen på CB.

Til sammenligning har Krinsen aldrig fået traditionelt vejsalt og her ligger Na-koncentrationen i jorden mellem 6,2 og 103,1 mg Na/kg med en middelværdi på 35,6 mg Na/kg (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden, som i den forhåndenværende undersøgelse i 2012 (men væsentlig lavere i 2016). Ved en undersøgelse af en lang række bytræs-jorde, ved veje der bliver saltet, er der til sammenligning målt markant højere koncentrationer med gennemsnit på 330 mg Na/kg og 100 mg Cl/kg (Pedersen 2003 og 2004 samt Pedersen et al, 2000a, 2000b, 2000c, 2001a, 2001b, 2003 og 2004). Koncentrationen af vand-ekstraherbart Cl er målt og resultaterne fremgår af Tabel 6. I en del tilfælde har koncentrationen af Cl været så lav, at den har været under detektionsgrænsen, hvorfor der ikke er udført statistik på disse data. Tallene peger på, at anvendelsen af forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter har medført, at Cl-Koncentrationen på CB i de to dybder under 10 cm er højere end på ØA men ikke FÆ i 2012. Al den tilførte Cl med traditionelt salt er tilsyneladende kun delvist blevet udvasket frem til oktober 2012 og 2016.

Forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har tilsyneladende påvirket Cl-koncentrationen. Tilførslen af salt hæver koncentrationen af Cl, men denne effekt bliver ikke så udtalt som tilfældet er for Na pga. den større udvaskning af Cl.

Til sammenligning har Krinsen aldrig fået traditionelt vejsalt, og her ligger koncentrationen af vand-ekstraherbart Cl i jorden fra under detektionsgrænsen (1,3 mg Cl/kg) til 44,3 mg Cl/kg med en middelværdi på 9,66 mg Cl/kg (Ingerslev et al. 2012), altså i samme størrelsesorden som det vi observerer på de lokaliteter, der er undersøgt her. Det skal her nævnes, at de jordbundsanalyser, der blev foretaget inden selve tilplantningen, viste, at der er stor forskel på den omgivende råjord mellem ØA og de øvrige to lokaliteter. Koncentrationen af vand-ekstraherbart Na og Cl i jordbundsprøver fra bunden af jordbundshullerne på ØA varierede mellem hhv. 460 - 560 mg Na/kg og 131 – 238 mg Cl/kg, mens de tilsvarende koncentrationer varierede mellem hhv. 21 - 47 mg Na/kg og 9 – 29 mg Cl/kg på de to andre lokaliteter. Denne forskel må antages at være forårsaget af rigtig mange års saltning på ØA. Råjorden på ØA kan ud fra disse tal karakteriseres som værende ”stærkt saltbelastet”. Disse tal peger også på, at det kan være formålstjenstligt at bortgrave en betydelig mængde jord, når man skal plante ved vejstrækninger, der har fået vejsalt i mange år. Også for AllétræsMuld’en adskiller ØA sig fra de to andre lokaliteter i starten af forsøget ved at have højere koncentrationer af vand-ekstraherbart Na og Cl (Tabel 2).

ESP er et godt udtryk for, hvor saltbelastet en jord er, da den angiver andelen af Na i forhold til hovedparten af ionbytterkompleksets størrelse i procent. Ud fra en vurdering, der alene baserer sig på ESP, må man sige, at værdierne er meget små, og alle de analyserede jorde kan klassificeres som værende ikke saltbelastede jf. klassificeringen fra UNSW (2013). Også ESP er højere i AllétræsMuld’en og specielt i råjorden ved starten af forsøget på ØA sammenlignet med CB og FÆ (Tabel 2). Værdierne er her meget lave pga. de store mængder af øvrige kationer som indgår i beregningen, specielt dominere de høje Ca-koncentrationer systemet.

Tabel 8: Gennemsnitlige værdier for pH(CaCl₂), pH(H₂O) og kationbyttekapaciteten (CEC) i 2012 og 2016 i forskellige jordbundsdybder. Gns.: gennemsnittet, Min: minimumværdi, Max: maksimumværdi og Std.Afv.: Standard-afvigelse. Forskellige højtstillede store bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme dybde. Forskellige lavtstillede små bogstaver indikerer signifikant forskellige koncentrationer mellem dybderne inden for samme lokalitet. Hvis en given koncentration fra samme lokalitet og dybde er steget eller faldet signifikant i perioden fra 2012 til 2016, så er det angivet med hhv. ↑ eller ↓.

	pH (CaCl ₂)				pH (H ₂ O)				CEC (meq/kg)			
	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.	Gns	Min	Max	Std. Afv.
2012												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	7,36	7,30	7,43	0,047	8,16 ^A _b	8,04	8,27	0,093	203 _b	191	215	9,4
10 - 20 cm	7,33	7,27	7,37	0,044	7,96 ^A _a	7,83	8,02	0,068	229 ^A _a	217	237	8,1
12 - 30 cm	7,33 ^A	7,31	7,36	0,017	7,94 ^A _a	7,93	7,97	0,019	235 ^A _a	223	251	11,6
30 - 50 cm	7,31 ^A	7,24	7,35	0,042	7,94 ^A _a	7,90	7,97	0,027	236 ^A _a	223	254	11,6
Fælledparken												
0 - 10 cm	7,18	7,12	7,25	0,065	7,66 ^B	7,37	7,89	0,265	216	211	223	6,5
10 - 20 cm	7,22	7,11	7,28	0,095	7,77 ^B	7,64	7,85	0,110	224 ^{AB}	221	229	4,3
12 - 30 cm	7,21 ^B	7,14	7,25	0,066	7,79 ^B	7,71	7,85	0,074	224 ^{AB}	222	225	1,7
30 - 50 cm	7,25 ^{AB}	7,22	7,26	0,024	7,83 ^B	7,80	7,85	0,025	224 ^{AB}	221	228	3,6
Øster Allé												
0 - 10 cm	7,33	6,84	7,47	0,207	8,32 ^A _a	8,02	8,42	0,126	204	188	216	8,7
10 - 20 cm	7,28	7,15	7,36	0,065	7,98 ^A _b	7,87	8,03	0,052	210 ^B	192	234	14,0
12 - 30 cm	7,21 ^B	7,16	7,29	0,048	7,77 ^B _{bc}	7,37	7,90	0,168	208 ^B	192	240	15,9
30 - 50 cm	7,19 ^B	7,03	7,26	0,087	7,83 ^B _c	7,71	7,93	0,077	201 ^B	148	230	23,8
2016												
Center Boulevard												
0 - 10 cm	7,35 ^{AB}	7,23	7,48	0,091	8,16 ^{AB} _a	7,85	8,37	0,188	334	153	1195	422,1
10 - 20 cm	7,32	7,26	7,38	0,046	8,04 _{ab}	7,95	8,10	0,069	545	178	1278	554,8
12 - 30 cm	7,31	7,28	7,36	0,034	7,93 ^{AB} _b	7,86	8,03	0,058	266	194	597	162,1
30 - 50 cm	7,34 ^A	7,29	7,41	0,041	7,97 ^B _b	7,93	7,99	0,022	196↓	187	212	9,6
Fælledparken												
0 - 10 cm	7,28 ^B _b	7,26	7,30	0,021	8,01 ^B	7,99	8,03	0,021	182↓	175	189	7,4
10 - 20 cm	7,32 _{ab}	7,31	7,34	0,015	8,14↑	8,07	8,19	0,062	185↓	174	193	10,1
12 - 30 cm	7,35 _a ↑ 7,36 ^A _a	7,31	7,38	0,035	8,20 ^A ↑	8,11	8,32	0,110	197↓	189	204	7,8
30 - 50 cm	↑	7,35	7,37	0,010	8,24 ^A ↑	8,13	8,38	0,128	191↓	170	203	18,3
Øster Allé												
0 - 10 cm	7,41 ^A _a	7,30	7,49	0,062	8,26 ^A _a	8,08	8,41	0,099	175↓	162	190	10,6
10 - 20 cm	7,20 _b	6,95	7,35	0,123	7,92 _b	7,59	8,08	0,161	176↓	143	197	16,4
12 - 30 cm	7,12 _b	6,60	7,31	0,246	7,79 ^B _b 7,93 ^B _b	7,27	8,02	0,277	168↓	86	205	42,0
30 - 50 cm	7,24 ^B _{ab}	7,15	7,29	0,054	↑	7,82	8,06	0,087	174↓	116	195	24,6

pH

pH(CaCl₂) er signifikant højere på CB end på ØA og i FÆ i dybder under 20 cm, med undtagelse af dybden 20 – 30 cm hvor der ikke er signifikant forskel på CB og FÆ i nogen dybder (Tabel 8). Dette er næppe en effekt af forskellene i de anvendte tømidler, da det ofte kræver langvarig behandling med kemikalier at ændre pH(CaCl₂) i disse dybder, og hvis det havde været tilfældet, burde dette også kunne ses tydeligt på de øvre jordlag. Til gengæld blev der observeret forskelle i pH(CaCl₂) i plantemulden inden tilplantning, som kan forklare forskellen mellem CB og ØA, da pH(CaCl₂) på disse lokaliteter var hhv. 7,4 og 7,2 inden tilplantningen. Til sammenligning ligger værdierne for pH(CaCl₂) ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen i samme størrelsesorden fra 6,8 til 7,5 med en middelværdi på 7,3 (Ingerslev et al. 2012). pH(CaCl₂) hænger sammen med reaktionstallet (Rt) ved følgende ligning:

$$R_t = \text{pH}(\text{CaCl}_2) + 0,5$$

I ”Normer og Vejledning for Anlægsgartnerarbejde 2010” står der, at R_t for muld bør ligge inden for intervallet 5,8-7,0, svarende til en pH(CaCl₂) på 5,3-6,5. Det er bemærkelsesværdigt, at de målte pH(CaCl₂)-værdier i denne undersøgelse alle er væsentlig højere end det anbefalede interval. Solum angiver et R_t=8 for ”Svær SuperMuld”, hvilket svarer til en pH(CaCl₂)-værdi på 7,5, som er 1,0 enhed over det anbefalede interval. Den værdi, som Solum opgiver, er lidt højere, end det vi måler i denne undersøgelse. pH-værdien påvirker næringsstofferne plantetilgængelighed, og ved de aktuelle pH-værdier er det specielt plantetilgængeligheden af Mn og P, som må forventes at være kritisk. I undersøgelsen af jorden ved Krinsen blev der målt Mn-koncentrationer i bladprøver, som indikerede problematisk ”Mn-mangel”. Løvanalyserne for CB, ØA og FÆ er gennemgået i nedenstående, og de begynder at vise kritisk lave værdier, som ved undersøgelsen af løvprøverne fra Krinsen. pH(H₂O) viser også højere værdier for CB. Disse resultater, sammenholdt med den høje Ca-koncentration, kunne tyde på, at jorden indeholder kalk, som giver den relativt høje pH.

Kationbytterkapaciteten (CEC)

I 2012 er CEC signifikant højere på CB i dybden 10–50 cm sammenlignet med ØA, mens FÆ ikke adskiller sig signifikant fra de to andre lokaliteter (Tabel 8). Disse forskelle kan ikke umiddelbart tilskrives hverken anvendelsen af forskellige tømidler eller muld på de tre lokaliteter. I 2016 findes der ingen signifikante forskelle mellem lokaliteterne mht. CEC, til gengæld er CEC faldet signifikant på ØA og FÆ i alle jorddybder samt på CB i den nederste dybde.

Til sammenligning ligger værdierne for CEC ved undersøgelsen af jordprøverne fra Krinsen i samme størrelsesorden: fra 200 op til 243 meq/kg med en middelværdi på

222 meq/kg (Ingerslev et al. 2012). Solum angiver ikke tal for CEC, hvilket heller ikke er tilfældet i SAB'en for anlæggelsen af Øster Allé (Særlige Arbejdsbeskrivelser).

Konklusioner på jord

Resultaterne fra undersøgelsen af AllétræsMuld-prøvernes tekstur viser, at der er forskel på den AllétræsMuld, der er anvendt på de forskellige lokaliteter, især er der en højere andel af finsand og mindre andel grovsand på ØA end på de to andre lokaliteter. Desuden er der mindre humus på CB, sammenlignet med mulden på ØA og i FÆ, samt flere sten i FÆ sammenlignet med på ØA og CB. Når man sammenligner teksturfordelingen i råjorden i bunden af plantebedene fra de forskellige lokaliteter, er der tydelig forskel på jorderne. På CB er råjorden domineret af grove partikler, især grovsand, mens råjorden på ØA har et betydeligt indhold af ler og silt og dermed en dårligere dræningsgrad. Ikke overraskende ligner teksturfordelingen i råjorden i FÆ, den vi finder på ØA, dog med et lidt mindre indhold af ler og silt. Hvis vi havde forventet, at forskellen i anvendte tømidler ville have påvirket densiteten, så ville vi have forventet, at jorden på CB ville få en højere densitet end jorden på ØA og i FÆ på grund af saltpåvirkningen. Det omvendte er konstateret, og forskellen i anvendte tømidler er næppe årsagen. Jorden på CB er ofte signifikant mindre komprimeret end jorden på ØA og i FÆ. Disse forskelle skyldes sandsynligvis færdsel på jorden tæt ved træerne på ØA og i FÆ, mens der ikke er samme færdsel på jorden ved træerne på CB, da det er en midterrabat. I årene fra 2010 til 2012 kan det således ikke bekræftes, at salt skulle have en komprimerende effekt på jorden.

Anvendelsen af tømiddel på de forskellige lokaliteter har tilsyneladende ikke påvirket koncentrationen af svovlsyreopløseligt P eller ned totale koncentration af N i mulden.

Anvendelsen af kaliumformiat har tilsyneladende påvirket den totale koncentration af C og C/N-forholdet eller, ved at hæve C-koncentrationen i det øverste jordlag (0-10 cm). Resultaterne peger på, at forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har påvirket K-koncentrationen. Denne påvirkning overskygges i 2012 af, at koncentrationen i dybder fra 20 – 50 cm på ØA allerede indeholder betydelige mængder K ved starten af forsøget. Ved tilførsel af en stor dosis kaliumformiat ved træerne i FÆ blev K-koncentrationen her signifikant forøget til et niveau der er højere end på CB eller ØA i 2016. Den mængde K, som er blevet tilført om vinteren på ØA, er tilsyneladende blevet udvasket fra de øverste jordlag til de dybere jordlag. Resultaterne peger også på, at forskellen i glatførebekæmpelse mellem de forskellige lokaliteter har påvirket koncentrationen af Na. På CB anvendelsen har anvendelsen af salt hævet Na-koncentrationen signifikant i forhold til på ØA. Den mængde Na,

som er blevet tilført om vinteren på CB, er tilsyneladende ikke blevet helt udvasket fra de øverste jordlag i 2012. Alt tyder samtidig på at hvis tilførslen udebliver i varme vintre kan Na udvaskes, specielt hvis der tilføres andre kationer via depositionen som det er tilfældet med Ca-depositionen fra byggearbejde på CB. Ud fra resultaterne kan man i 2012 karakterisere jorden på ØA og i FÆ som ”meget svagt saltbelastede”, mens jorden på CB under 10 cm kan karakteriseres som værende ”svagt saltbelastet”. Selvom der er observeret forskelle i koncentrationerne af ombytligt Ca, Mg, Fe og Mn mellem lokaliteterne, så antages det, at disse forskelle ikke stammer fra anvendelsen af forskellige tømidler. De jordbundsanalyser, der blev foretaget inden selve tilplantningen, viste, at der er stor forskel på den omgivende råjord mellem ØA og de øvrige to lokaliteter. Koncentrationen af vand-ekstraherbart Na og Cl i jordbundsprøver fra bunden af jordbundshullerne på ØA varierede mellem hhv. 460 - 560 mg Na/kg og 131 – 238 mg Cl/kg, mens de tilsvarende koncentrationer varierede mellem hhv. 21 - 47 mg Na/kg og 9 – 29 mg Cl/kg på de to andre lokaliteter. Denne forskel må antages at være forårsaget af mange års saltning på ØA. Råjorden på ØA kan, ud fra disse tal, karakteriseres som værende ”stærkt saltbelastet”. Disse tal peger også på, at det kan være formålstjenstligt at bortgrave en betydelig mængde jord, når man skal plante ved vejstrækninger, der har fået vejsalt i mange år. Overordnet skal det bemærkes, at den generelt lavere densitet, som blev observeret på CB i forhold til FÆ og ØA, betyder, at der på jordvolumenbasis er færre næringsstoffer på CB i forhold til de to andre lokaliteter.



Bærelag, belægning og vækstmedium nyetableres på ØA (Mads Madsen Krag)

Vand

Vandkemi

Der blev månedligt udtaget jordvandsprøver fra de bede, der indgik i denne del af forsøget (fire træbede på ØA, fire træbede på CB og to træbede i FÆ). Ved hjælp af et kontinueret vakuum blev jordvæsken suget fra jorden ind igennem porøse sugekopper (Prenart, teflonkopper). Prøver blev udtaget fra hhv. 40 cm's dybde (5 sugekopper/træ) og 75 cm's dybde (3 sugekopper/træ). Jordvandet blev herefter suget fra sugekopperne til opbevaringsflasker via inerte teflonslanger. For at undgå for store temperaturudsving, samt direkte sollys og vandalisme, var slangerne gravet ned i jorden, og opbevaringsflaskerne blev opbevaret i nedgravede låste kasser.

Jordvandsprøverne blev analyseret for Ledningsevne (Radiometer CDM210), pH (Radiometer VIT90), koncentrationen af formiat, Cl, NO₃-N og SO₄-S vha. HPLC (Shimadzu, LC-10AD og CDD-10A), koncentrationen af P vha. FIA (Perkin Elmer, UV/VIS spectrometer, Lambda 2), koncentrationen af P, K, Ca, Mg, Fe, Mn og Na vha. ICP-OES (Perkin Elmer Optima 3000 XL) samt koncentrationen af totalt N og opløst C (Shimadzu, TOC-V cph og TNM-1). Resultaterne af analyserne fremgår af figur 8 og 15.

Generelt er ledningsevnen ret høj på ØA i 75 cm dybde, mens den ofte er af samme størrelsesorden, eller noget lavere, på CB i 75 cm dybde. Ledningsevnen i FÆ er for begge dybder typisk noget lavere end på CB og ØA. Den høje ledningsevne på ØA skyldes høje koncentrationer af bl.a. Mg, K samt medfølgende anioner, Na inden for den første halvdel af perioden. Selvom koncentrationerne af P, Fe og Mn ofte er højere på ØA sammenlignet med på CB og i FÆ, er de alligevel så små, at de ikke spiller nogen kvantitativ rolle for ledningsevnen.

På alle tre lokaliteter er ledningsevnen høj i starten af perioden, hvor træerne lige er blevet plantet, og der er blevet rodet rundt i jorden, hvorefter den falder hen gennem den undersøgte periode. Det samme overordnede mønster ses på alle lokaliteter for koncentrationen af NO₃-N, Total N, P, K, Mg, Fe, Mn samt Na og Cl på ØA, mens koncentrationen af Ca ser ud til at være relativt upåvirket af etableringen i begyndelsen af perioden.

Umiddelbart efter etableringsfasen ses særligt høje koncentrationer af NO₃-N og Total N på CB og i FÆ, hvilket kunne pege på, at der sker en hurtigere udvaskning af N fra de øverste 10 cm jord, som indeholder signifikant mere N på CB og i FÆ. Forskelle i de øvrige jordlags koncentration af N kan ikke forklare disse forskelle. Frem til juni 2011 observeres koncentrationer af N, som overskrider drikkevandskravet på 11,3 mg NO₃-N. Herefter ligger alle målte koncentrationer

under denne grænseværdi. $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentrationen er under 1,5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ igennem hele undersøgelsen (ikke vist her).

Koncentrationen af P er generelt højere på ØA i forhold til de to andre lokaliteter. Dette kan ikke forklares ud fra forskelle i koncentrationen af P i jorden. En del af koncentrationerne er over kravet for drikkevand på 0,15 mg P/l.

Koncentrationen af K er tydeligvis højere på ØA sammenlignet med CB og FÆ. Dette er en effekt af, at jordbunden fra starten indeholdt mere K end CB og ØA, samt anvendelsen af kaliumformiat på ØA. På trods af at der tilføres kaliumformiat til ØA i alle vintrene, er koncentrationen af K generelt faldende på ØA både i 40 og 75 cm's dybde som en overordnet trend i hele perioden. Hvilket peger på at tilførslen af K med kaliumformiat ikke er bestemmende for størrelsesordenen af K-koncentrationen sammenlignet med den udvaskning der sker fra den relativt K-holdige jord i den nyetablerede plantebed

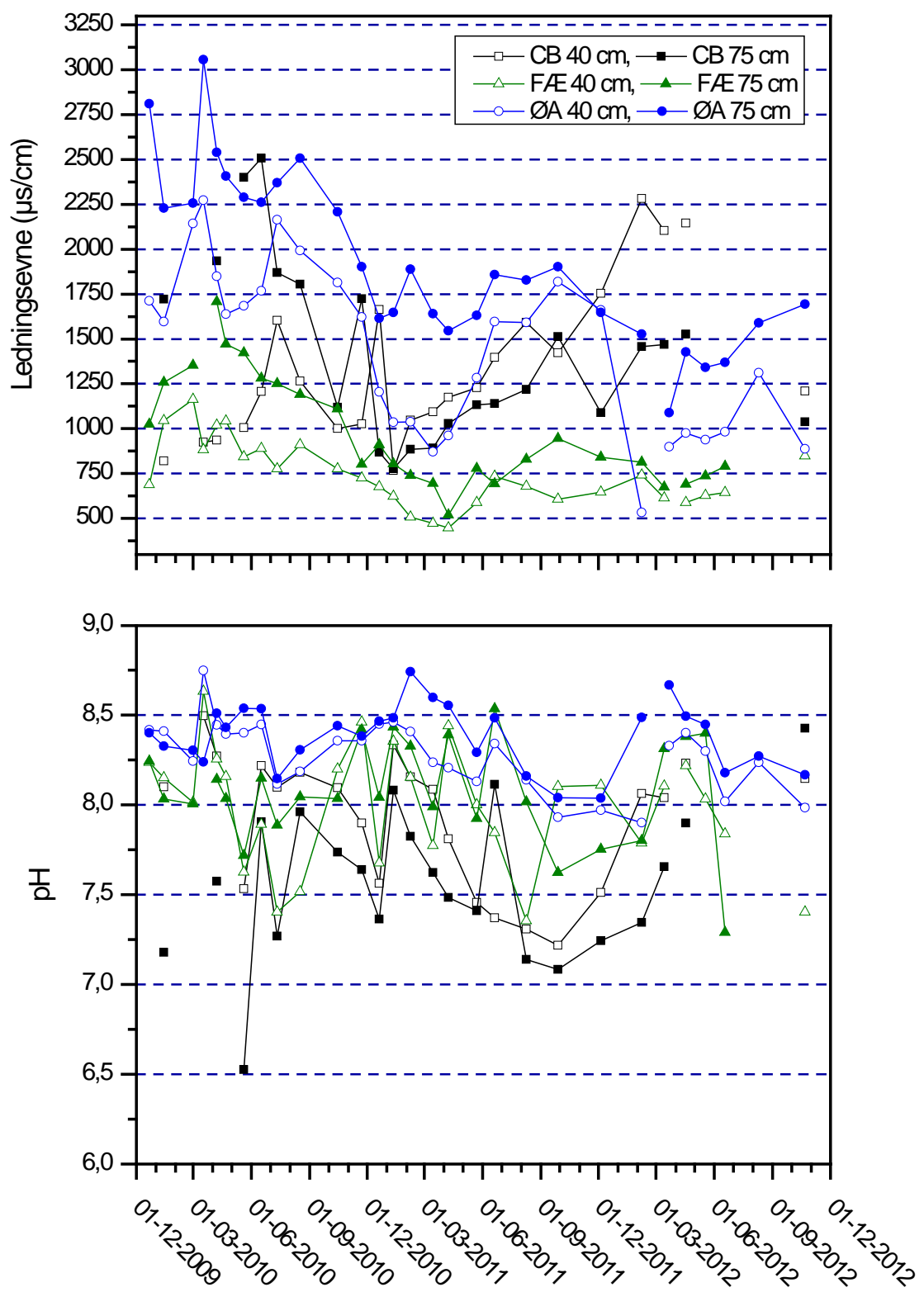
Koncentrationerne af Ca er lavere på ØA end på CB, og koncentrationen af Ca i FÆ ligger ofte imellem de to andre lokaliteter. Disse forhold afspejler koncentrationerne af Ca i jordbunden. For Mg er koncentrationen oftest højest på ØA og lavest i FÆ, mens Mg-koncentrationen på CB ligger imellem de to andre lokaliteter. Disse forhold afspejler også Mg-koncentrationerne i jordbunden under 20 cm, selvom forskellene i jordanalyserne her ikke er signifikante.

På CB er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende igennem hele perioden, hvilket er en tydelig effekt af den vejsaltning med NaCl, som foregår her. Koncentrationen af Na på ØA er høj i starten af undersøgelsen, men falder så hen gennem perioden. Dette er mest udtalt i 75 cm's dybde, men i 40 cm's dybde er koncentrationen på ØA også højere i starten af undersøgelsen sammenlignet med på CB og i FÆ. Dette kunne skyldes, at den omgivende råjord har en markant høj koncentration af Na og Cl, som kan opløses og diffundere. Den tydelige trend i koncentrationsforøgelsen af både Cl og Na er foruroligende. Allerede efter tre år opbygges koncentrationer, som er langt større, end hvad der ses i naturen, og som ligner de koncentrationer, der er fundet i andre undersøgelser af vejtræer i byer, hvor der anvendes traditionelt vejsalt (Pedersen et al, 2000 og 2001). De højeste koncentrationer, der er fundet i byjorde, er i samme størrelsesorden som indholdet i Østersøvand. I starten af perioden observeres enkelte jordvandsprøver med høje koncentrationer af formiat, hvorefter koncentrationen forbliver meget lav, oftest under detektionsgrænsen på 0,1 mg formiat/l. Dette kunne tyde på, at de mikroorganismer, som omsætter formiat, har fået en populationsstørrelse, som kan omsætte hovedparten af det tilførte formiat. Det er ikke kun på ØA, at der kan måles formiat i jordvandet, det ses også på de to andre lokaliteter. Koncentrationen af opløst organisk kulstof (*DOC: dissolved organic carbon*) er højest på ØA

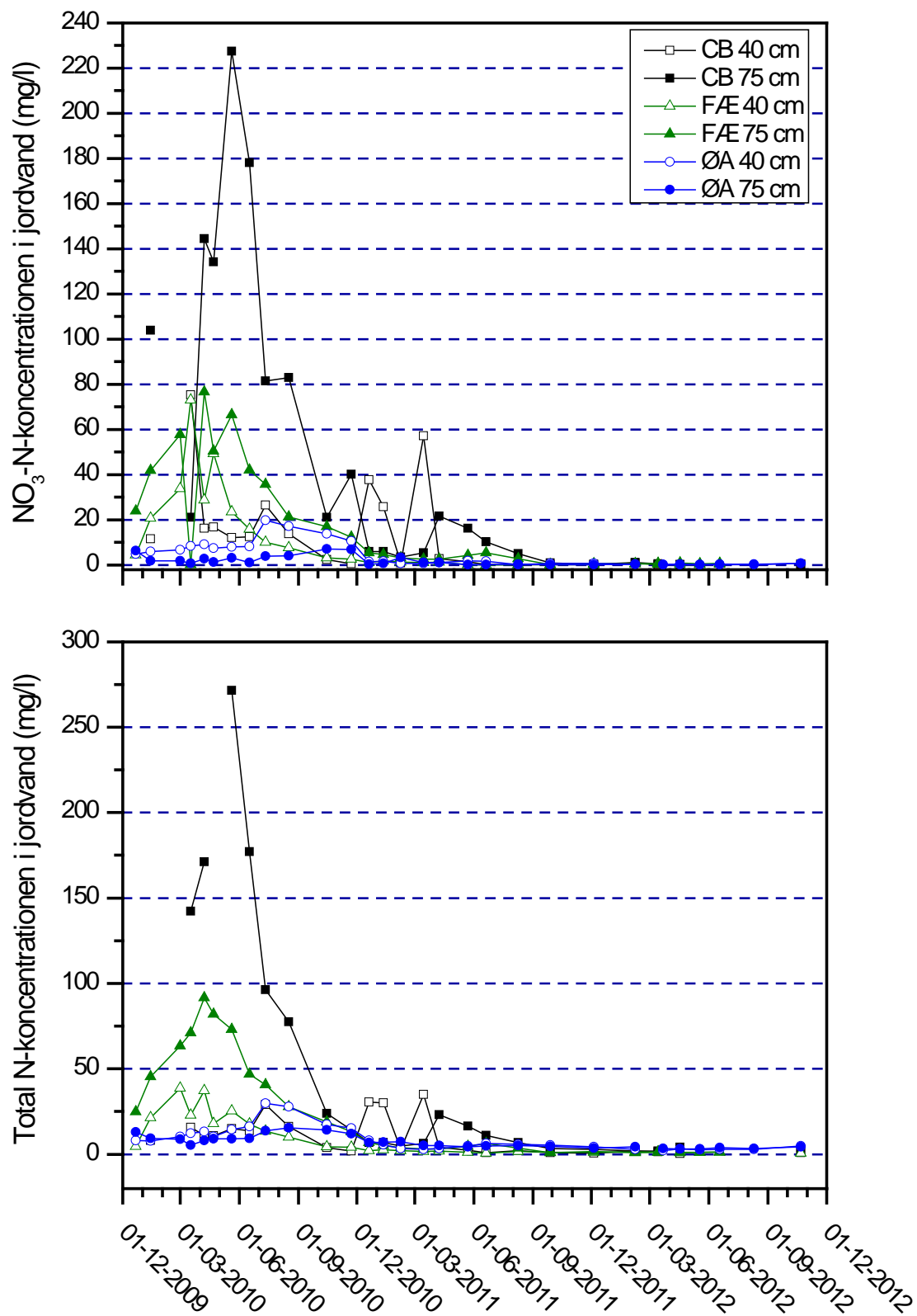
sammenlignet med på CB og i FÆ. Denne koncentration er faldende igennem perioden, men faldet er ikke så markant som for formiat. Dette skyldes antageligt, at DOC er et samlet udtryk for mange forskellige organiske forbindelser, og at koncentrationen af disse stoffer er størst i perioden efter etablering af træerne og faldende herefter.



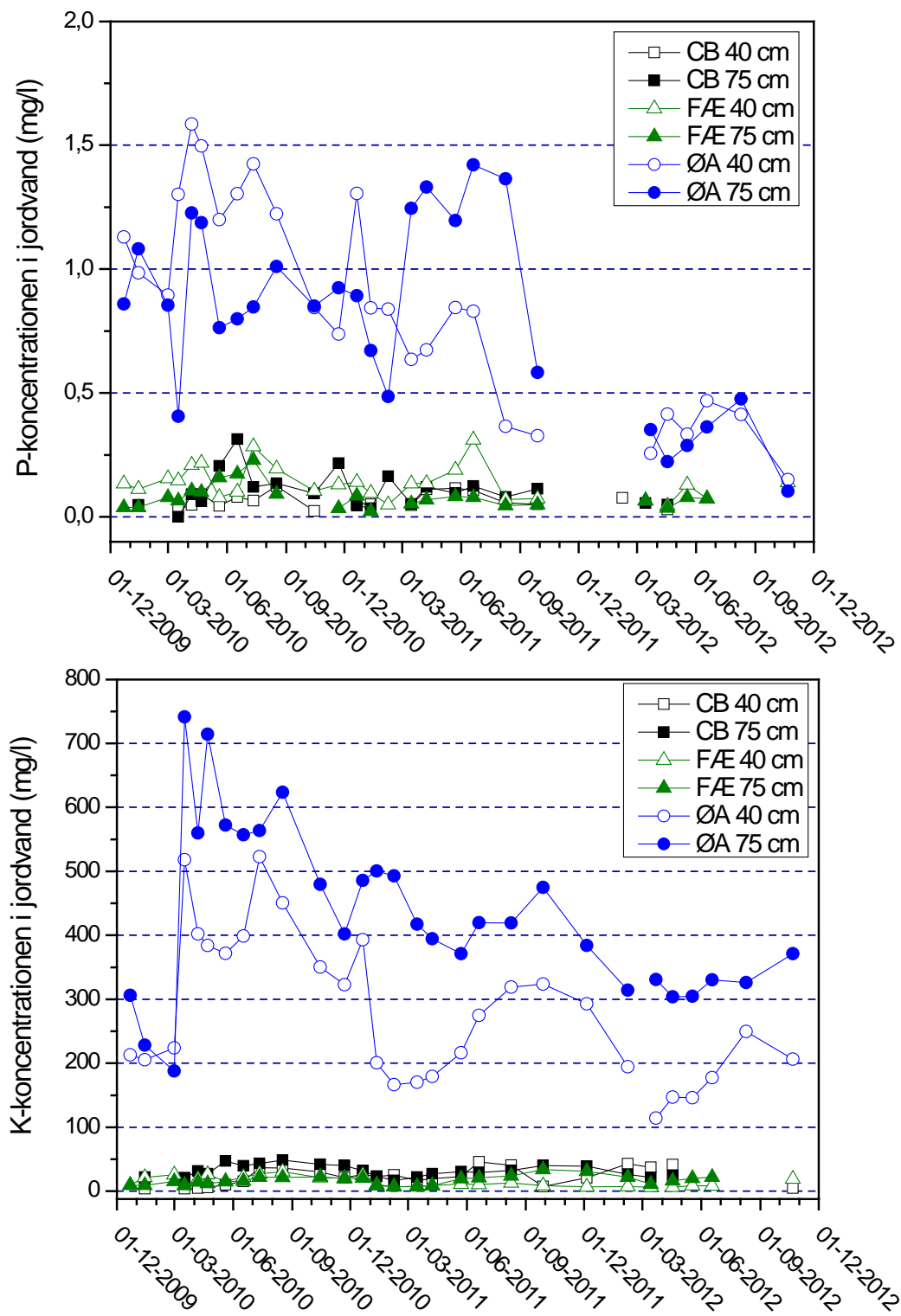
Etanolgenerator driver vacuum-pumpe, der via et slangesystem suger jordvand.



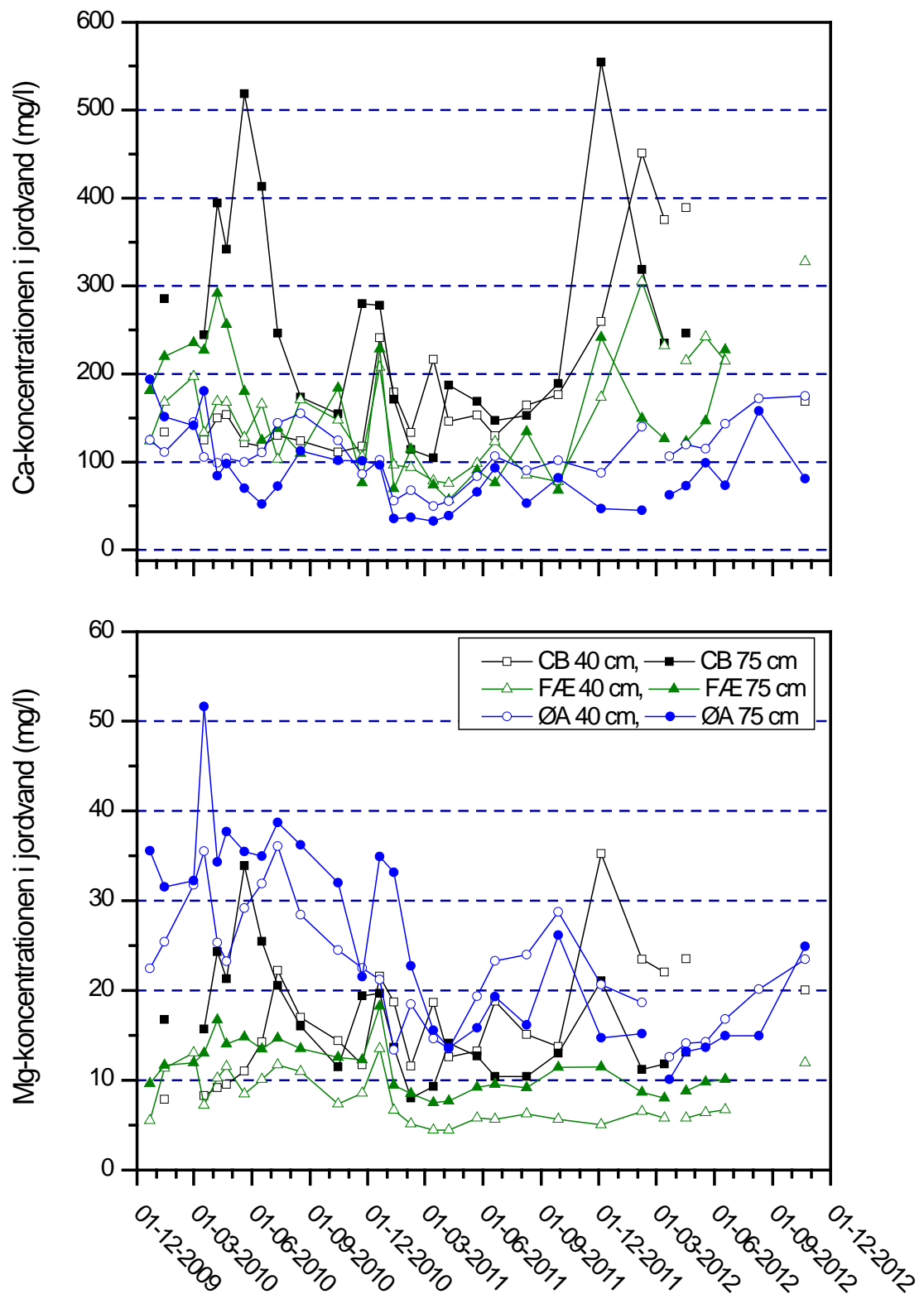
Figur 7: Ledningsevnen og pH i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



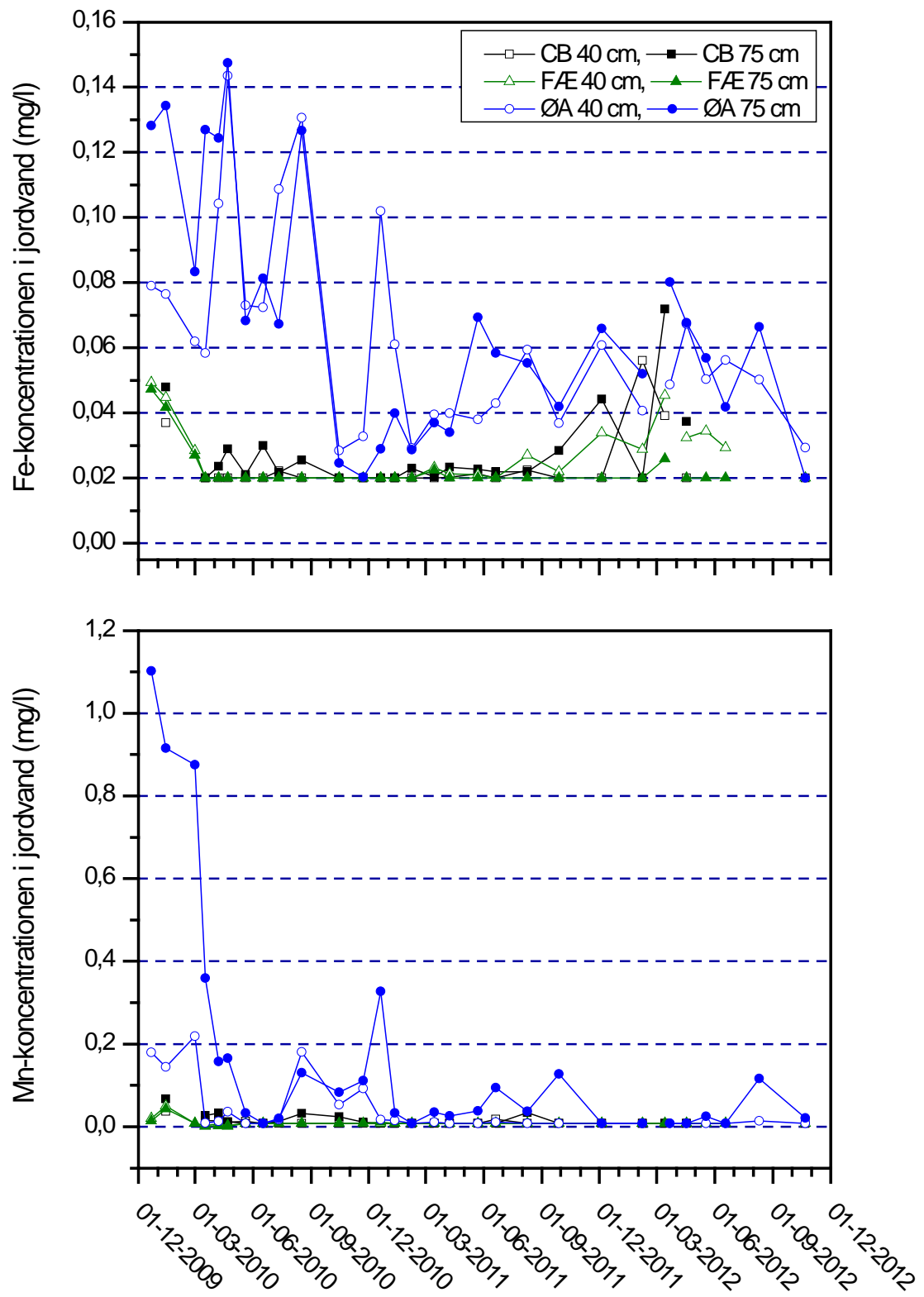
Figur 8: Koncentrationen af NO₃-N og total N i jordvandet fra to forskellige dybder på tre lokaliteter.



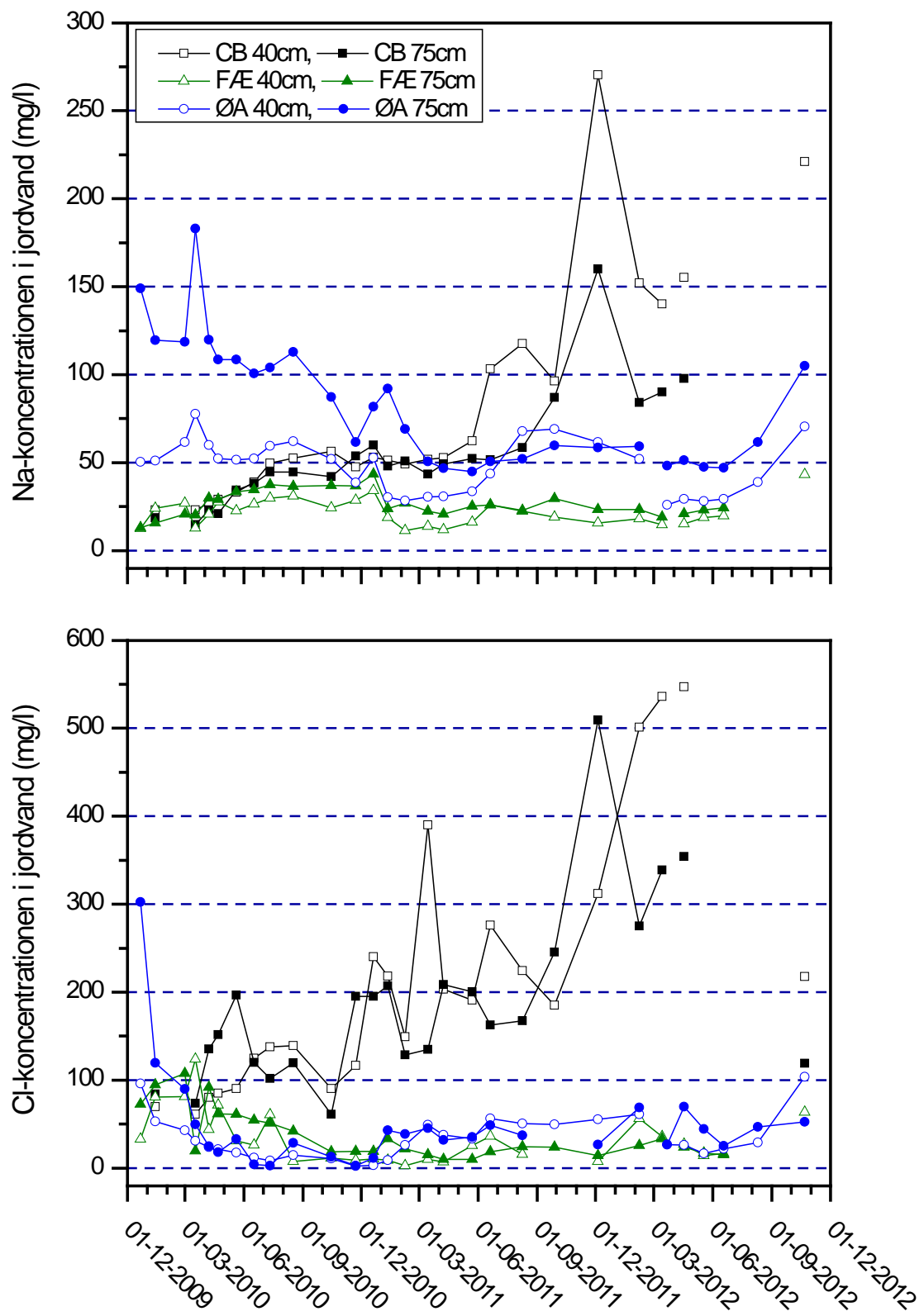
Figur 9: Koncentrationen af P og K i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



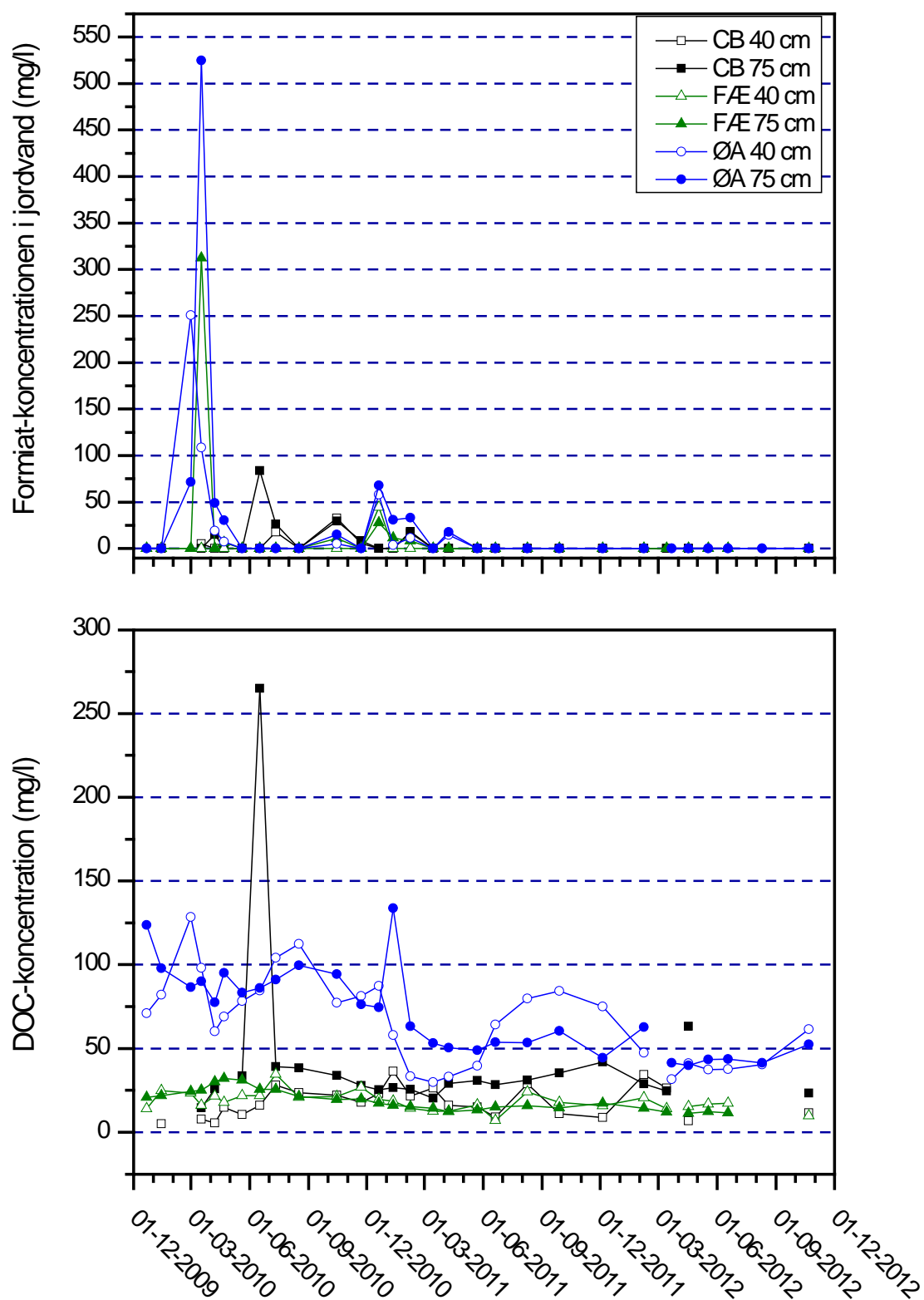
Figur 10: Koncentrationen af Ca og Mg i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



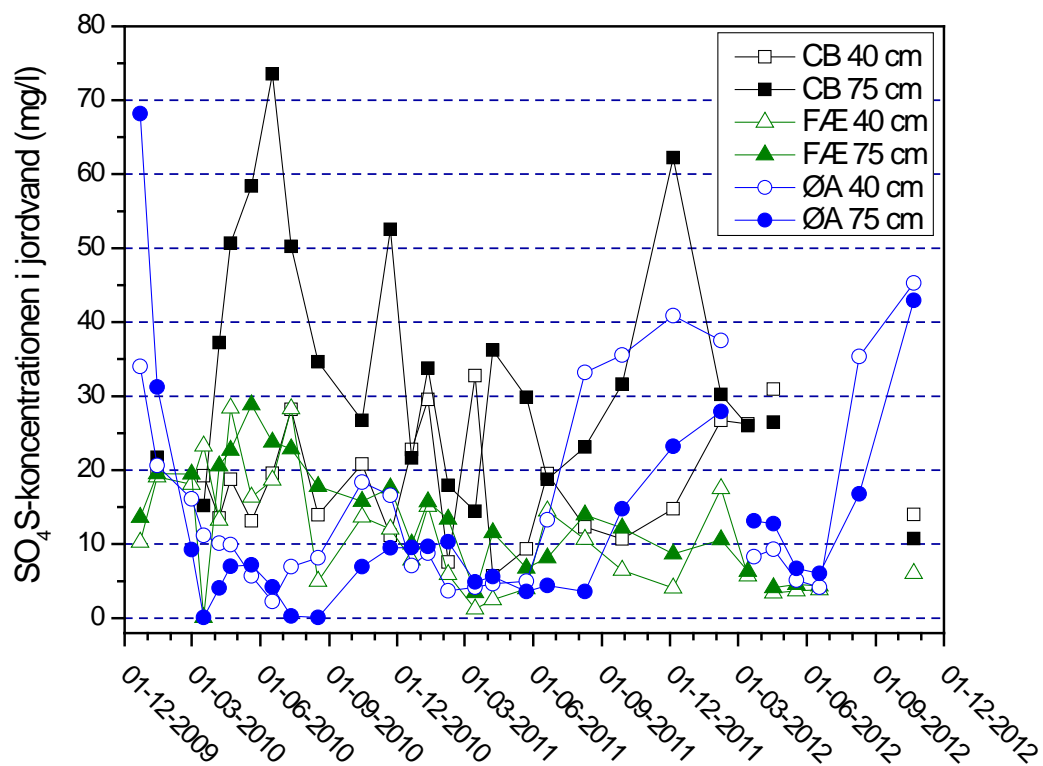
Figur 11: Koncentrationen af Fe og Mn i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 12: Koncentrationen af Na og Cl i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 13: Koncentrationen af formiat og opløst C (DOC: dissolved organic carbon) i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Figur 14: Koncentrationen af $\text{SO}_4\text{-S}$ i jordvandet fra to forskellige dybder på de tre lokaliteter.



Udtag af jordvand fra isoleret kasse.

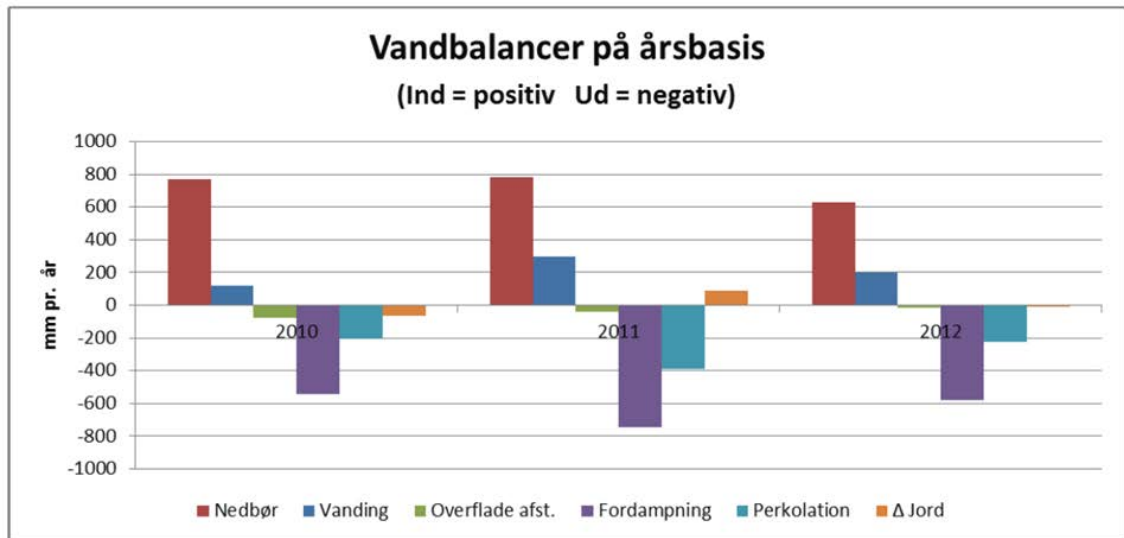
Vandbalance

For at bestemme, hvor meget der udvaskes af de forskellige stoffer, skal man opstille en vandbalance, som giver os de mængder af vand, som udvaskes under rodzonen (perkolationen). Når vi kender denne størrelse på månedsbasis, kan vi gange vandmængderne med de tilsvarende koncentrationer af de givne stoffer og derved bestemme udvaskningen.

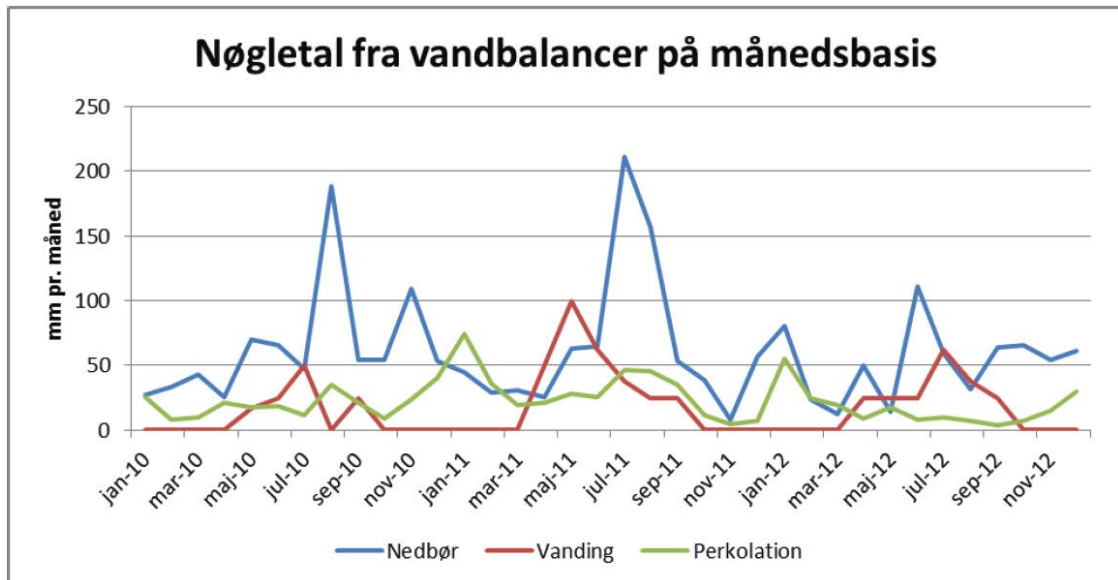
Til opstilling af vandbalance og beregning af nedsivning af vand under rodzonen (perkolation fra 80 cm) anvendes modelleringsværktøjet "Coupmodel" (Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system, Jansson & Moon, 2001) til økosystemer. Der er valgt en opsætning af Coup-modellen med dynamiske energi- og vandbalancer samt statiske værdier for jord og vegetation. Der anvendes klimadata på døgnbasis, og tilsvarende beregner modellen vandbalancen på døgnbasis, herunder perkolation. Der mangler brugbare lokale klimadata for nedbør og vind på hver lokalitet, derfor anvendes samme modellerede vandbalance på de tre lokaliteter. Det giver en rimelig god generel estimering af vandbalancen, da træer, substrat, vanding og klima i store træk er ens på lokaliteterne.

Modelleringen er baseret på følgende data: Temperatur og relativ fugtighed målt på Øster Allé, nedbør og vind fra DMI-klima grid 6181 samt global indstråling fra DMI-station "Toldboderne". Som jordtype/substrat er anvendt "AllétræsMuld" ned til 70 cm med dække af "Slotsgrus" (6 cm). Som vegetation er anvendt træer med en højde på 6,4 m, maksimalt blad areal index (Leaf area index = LAI) på 3,5 og en roddybde på 0,8 m. Modellen er valideret på basis af målinger af temperatur og vandindhold i jorden i 2 timers interval på Øster allé, som er omregnet til middelværdier på døgnbasis. Valideringen sandsynliggør, at den anvendte opsætning af Coup-modellen giver et retvisende estimat for perkolation i forsøgsperioden.

Ud fra modellens output er der opstillet vandbalancer på årsbasis (Figur 16). Det ses, at nedbør, vanding, fordampning og perkolation var størst i 2011. Der er udtrukket nøgletal på månedsbasis for nedbør, vanding og perkolation, som fremgår af Figur 16. I både 2010 og 2011 var nedbør og vanding store i vækstsæsonerne og fører til en betydelig perkolation i sensommeren. I 2012 er nedbør og vanding væsentligt mindre i vækstsæsonen, og perkolation tilsvarende lille. Til vandkemi anvendes perkolation i perioder mellem opsamling af vandprøver.



Figur 15: Vandbalancer på årsbasis.



Figur 16: Nedbør, vanding og perkolation.

Stofbalancer

Stofbalancerne er beregnet ved hjælp af en hydrologisk model, som anvender en række meteorologiske data, jordens fugtighed, data for jordens tekstur og opbygning samt data for vanding og beregner nedsivningen. Udvaskningen af stoffer er efterfølgende beregnet ved at kombinere nedsivningen med stofkoncentrationerne i nedsivningsvandet. Der er opstillet vand- og stofbalancer for det vand, som rammer jorden omkring træerne (nedbør og sjap) samt det vand, der siver ned og væk under rodzonen i 75 cm's dybde i jorden (vandmodellen er opstillet via Coup-modellen). I nedenstående er stofbalancerne så vidt muligt opsat for de hydrologiske år (fra 1. maj til 30. april det efterfølgende år). Af praktiske årsager har det været mest hensigtsmæssigt at udføre beregningerne, så de følger indsamlingsdatoerne for de prøver, der blev indsamlet tættest på den 1. maj (Tabel 10 - 13). Ud fra oplysninger om spredning af tømidler på hhv. CB og ØA fra Københavns Kommune har vi beregnet doseringen i de undersøgte perioder (Tabel 9)

For mange af stofferne gælder det, at balancen i begyndelsen af de første perioder er præget af etableringen af beplantningerne, og at udvaskningen overstiger stoftilførslen med nedbør og sjap, mens denne forskel mellem tilførsel og udvaskning bliver mindre i den eller de sidste perioder. Dette gælder for $\text{NO}_3\text{-N}$, Total N, K, Ca, Mg og $\text{SO}_4\text{-S}$.

På CB overstiger udvaskningen af $\text{NO}_3\text{-N}$ og Total N tilførslen i de første perioder men falder herefter og ender med at blive lidt mindre end tilførslen i den sidste periode. Dette kunne pege på, at der bliver omsat organiske forbindelser og frigivet N i muldjorden. Det ser ud til, at det er det samme som sker i FÆ, men i mindre målestok. På ØA er situationen en anden. Her er udvaskningen væsentlig mindre, end det er tilfældet på CB og i FÆ, og derfor er balancen også mindre påvirket. Årsagen til denne forskel imellem lokaliteterne kendes ikke, men igen kunne observationerne pege på, at der er sket en hurtig udvaskning af N fra de øverste 10 cm jord, som indeholder betydeligt mere N på CB og i FÆ sammenlignet med ØA. Endvidere kunne forskelle i tekturen betyde, at udvaskningen kan foregå hurtigere på CB og i FÆ, da andelen af grovsand er større her sammenlignet med ØA. I den sidste periode er balancen for Total N og $\text{NH}_4\text{-N}$ på ØA påvirket af nogle episoder, hvor tilførslen er relativt stor, formodentlig forårsaget af forurening.

Generelt akkumuleres P i jorden i alle perioderne. For P gælder det også, at stofbalancen i den sidste periode på ØA er påvirket af nogle episoder, hvor tilførslen er relativt stor, formodentlig forårsaget af forurening. Disse forureningsepisoder dominerer balancen for P på ØA.

På CB og i FÆ er udvaskningen af K større end tilførslen i de første tre perioder, mens dette forhold er vendt i den sidste periode. Overordnet sker der en netto frigivelse af K fra jorderne på CB og i FÆ, når man betragter alle beregningsperioderne under ét. Årsagen til dette er sandsynligvis, at plantemulden har et relativt højt indhold af K, som den kan frigive i perioden efter udplantning, men efterhånden som tiden går, falder udvaskningen og kommer mere i balance med tilførslen. På ØA er K-balancen tydeligt påvirket af spredningen af kaliumformiat og af, at jorden fra starten af forsøget indeholdt betydelige mængder K, mere end på CB og i FÆ. Tilførslen og i særdeleshed udvaskningen er markant større på denne lokalitet sammenlignet med de to andre lokaliteter. Udvasningen overstiger tilførslen, hvilket antageligt skyldes, at koncentrationen af K er væsentlig højere i jorden på denne lokalitet, og at K-koncentrationen i jordvandet fra starten er høj og faldende med tiden. Målingerne afspejler på denne måde AllétræsMuld'ens høje K-koncentration ved starten af forsøget. Årsagen til den høje K-koncentration på ØA ved starten kan evt. skyldes anvendelsen af kaliumformiat som tømiddel i den fase, hvor ØA blev opbygget. I den sidste beregningsperiode er udvaskningen af K relativt tæt på tilførslen. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde kaliumformiat-tømiddel, som spredes pr. kvm, og den mængde som lander i plantehullerne (pr. kvm), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, og variationen er stor fra ganske få procent op til 7 %.

Balancerne er som jordvandskoncentrationerne tydeligvis påvirket af, at der anvendes forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter. På CB sker der en akkumulering af Na og Cl i de første perioder, mens det virker som om, jorden med tiden bliver "mættet" med Na og Cl og i de sidste perioder udvaskes mere, end der tilføres. Generelt bliver forskellen mellem tilført og udvasket Na og Cl mindre med tiden. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde NaCl-tømiddel, som spredes pr. kvm, og den mængde der lander i plantehullerne (pr. kvm), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, omkring 8 %.

Udvasningen af formiat er meget lille i slutningen af forsøgsperioden og styret af, at koncentrationen er faldende igennem forsøget. Balancen peger på, at den mængde formiat, der bliver tilført som tømiddel, bliver nedbrudt i jorden. I en finsk undersøgelse finder man ligeledes, at formiat fra anvendelse af kaliumformiat omsættes relativt hurtigt (Hellstén PP et al. 2005). Når formiat nedbrydes i jorden bør pH stige. Denne effekt kan ikke registreres, formodentlig på grund af jordens store bufferkapacitet og den relativt korte forsøgsperiode.

Generelt er der for de fleste stoffer tale om udvaskning af relativt store stofmængder, ligesom stofkoncentrationerne også er høje sammenlignet med mange andre undersøgelser i forskellige økosystemer. Årsagen til disse forhold skal antageligvis findes i det forhold, at der ved en plantning sker drastiske ting i jorden, og

ændringerne i jordbunds- og jordvæskekemien som følge heraf er markante. Resultaterne peger også på, at disse effekter af plantningen bliver mindre, efterhånden som tiden går.

Tabel 9: Den mængde tømiddel der er spredt på lokaliteterne igennem beregningsperioderne.

Spredt på vej, cykelsti og gangareal g/(m ² *periode)	Kaliumformiat ØA	K ØA	Formiat ØA	Na CB	Cl CB
01-12-2009 til 22-04-2010	1843	857	986	581	896
22-04-2010 til 08-04-2011	1735	806	928	664	1024
08-04-2011 til 17-04-2012	493	229	264	199	306
17-04-2012 til 22-10-2012	0	0	0	0	0
Sum	4070	1892	2178	1444	2226

Tabel 10: Stofbalance for de mængder NO₃-N, Total N, NH₄-N og P som tilføres jorden med nedbør og sjaap, samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Træ- og ukrudtsoptag er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	NO ₃ -N			Total N			NH ₄ -N			P		
Nedbør og sjaap	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
01-12-2009 til 22-04-2010	0,17	0,14	0,18	0,36	0,39	0,41	0,18	0,21	0,20	0,006	0,012	0,046
22-04-2010 til 08-04-2011	0,73	0,71	0,74	0,95	1,67	0,95	0,15	0,19	0,18	0,051	0,58	0,12
08-04-2011 til 17-04-2012	0,90	0,68	1,81	1,07	0,78	2,03	0,17	0,062	0,47	0,14	0,066	0,22
17-04-2012 til 22-10-2012	0,40	0,39	0,28	0,51	0,50	6,57	0,022	0,014	3,34	0,095	0,072	0,45
Sum	2,21	1,92	3,02	2,89	3,34	9,96	0,51	0,48	4,18	0,29	0,73	0,83
Udvaskning	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
01-12-2009 til 22-04-2010	10,8	4,51	0,34	16,4	5,51	1,07	0,0077	0,0086	0,084	0,0052	0,0064	0,10
22-04-2010 til 08-04-2011	11,0	4,12	0,98	11,8	4,64	2,85	0,016	0,016	0,091	0,038	0,021	0,25
08-04-2011 til 17-04-2012	1,38	0,56	0,10	1,88	0,79	1,45	0,016	0,016	0,022	0,029	0,019	0,27
17-04-2012 til 22-10-2012	0,013	0,038	0,018	0,15	0,075	0,20	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027	0,0040	0,017
Sum	23,2	9,23	1,44	30,2	11,0	5,56	0,042	0,043	0,20	0,075	0,050	0,64
Balance	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
01-12-2009 til 22-04-2010	-10,6	-4,37	-0,16	-16,0	-5,12	-0,66	0,17	0,20	0,11	0,0011	0,0061	-0,058
22-04-2010 til 08-04-2011	-10,3	-3,41	-0,24	-10,9	-2,98	-1,89	0,13	0,18	0,09	0,013	0,56	-0,13
08-04-2011 til 17-04-2012	-0,48	0,12	1,71	-0,81	-0,012	0,58	0,15	0,046	0,44	0,11	0,047	-0,052
17-04-2012 til 22-10-2012	0,39	0,35	0,26	0,36	0,42	6,37	0,020	0,011	3,34	0,092	0,068	0,43
Sum	-21,0	-7,31	1,58	-27,3	-7,7	4,40	0,47	0,43	3,99	0,22	0,68	0,19

Tabel 11: Stofbalance for de mængder K, Ca, Mg og Fe som tilføres jorden med nedbør og sjaap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	K			Ca			Mg			Fe		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap												
01-12-2009 til												
22-04-2010	0,25	0,12	12,5	1,96	0,56	1,02	0,11	0,029	0,031	0,0123	0,0102	0,0086
22-04-2010 til												
08-04-2011	1,63	1,56	50,8	7,67	5,41	3,86	0,17	0,23	0,055	0,0152	0,0183	0,0140
08-04-2011 til												
17-04-2012	2,70	1,02	4,87	13,8	5,88	5,35	2,53	0,35	0,43	0,0193	0,0201	0,0232
17-04-2012 til												
22-10-2012	1,51	1,53	3,67	1,97	2,24	2,64	0,20	0,19	0,39	0,0087	0,0079	0,0183
Sum	6,09	4,22	71,8	25,4	14,1	12,9	3,01	0,80	0,90	0,0555	0,0565	0,0642
Udvaskning												
01-12-2009 til												
22-04-2010	2,47	1,18	37,1	31,7	23,6	16,0	1,90	1,26	3,66	0,0043	0,0038	0,0131
22-04-2010 til												
08-04-2011	9,23	3,98	154	57,8	35,7	17,7	4,26	3,27	8,71	0,0069	0,0064	0,0128
08-04-2011 til												
17-04-2012	10,2	7,70	126	74,8	38,8	20,3	3,97	3,11	5,73	0,0096	0,0067	0,0183
17-04-2012 til												
22-10-2012	1,32	1,16	17,9	13,3	11,0	5,72	0,71	0,54	0,91	0,0020	0,0011	0,0026
Sum	23,2	14,0	335	178	109	59,7	10,83	8,18	19,0	0,023	0,018	0,047
Balance												
01-12-2009 til												
22-04-2010	-2,22	-1,06	-24,6	-29,7	-23,1	-15,0	-1,79	-1,23	-3,63	0,0080	0,0064	-0,0045
22-04-2010 til												
08-04-2011	-7,60	-2,42	-103	-50,2	-30,3	-13,8	-4,09	-3,04	-8,66	0,0083	0,012	0,0013
08-04-2011 til												
17-04-2012	-7,47	-6,69	-121	-61,0	-32,9	-14,9	-1,44	-2,76	-5,30	0,0097	0,013	0,0049
17-04-2012 til												
22-10-2012	0,18	0,37	-14,2	-11,3	-8,80	-3,08	-0,51	-0,35	-0,52	0,0066	0,0068	0,016
Sum	-17,1	-9,80	-264	-152	-95,1	-46,8	-7,82	-7,38	-18,1	0,033	0,039	0,017



Flaske med jordvand.

Tabel 12: Stofbalance for de mængder Mn, Na, Cl og SO₄-S som tilføres jorden med nedbør og sjap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	Mn			Na			Cl			SO ₄ -S		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjap												
01-12-2009 til												
22-04-2010	0,0018	0,0028	0,0036	40,6	0,25	1,03	65,4	0,36	0,90	0,29	0,13	0,22
22-04-2010 til												
08-04-2011	0,0065	0,0064	0,0074	49,7	0,83	4,60	78,6	2,01	4,15	0,97	0,45	0,61
08-04-2011 til												
17-04-2012	0,0070	0,0061	0,0171	25,1	1,57	2,53	43,9	4,02	5,85	2,82	0,57	0,90
17-04-2012 til												
22-10-2012	0,0028	0,0023	0,0070	0,57	0,50	4,07	1,68	1,43	8,70	0,34	0,27	0,64
Sum	0,0180	0,0176	0,0350	116	3,16	12,2	190	7,82	19,6	4,42	1,41	2,36
Udvaskning												
01-12-2009 til												
22-04-2010	0,0056	0,0019	0,084	2,01	2,01	13,7	10,2	8,92	15,6	2,74	1,87	3,42
22-04-2010 til												
08-04-2011	0,0038	0,0025	0,012	14,5	9,19	25,2	44,1	8,72	9,33	9,94	4,75	2,35
08-04-2011 til												
17-04-2012	0,0044	0,0026	0,016	25,5	7,97	17,8	81,7	7,37	14,6	9,54	3,33	4,54
17-04-2012 til												
22-10-2012	0,0004	0,0004	0,0025	5,28	1,30	3,49	11,3	0,84	2,32	0,91	0,24	0,95
Sum	0,014	0,0074	0,11	47,3	20,5	60,2	147	25,9	41,8	23,1	10,2	11,3
Balance												
01-12-2009 til												
22-04-2010	-0,0038	0,0009	-0,080	38,6	-1,76	-12,7	55,3	-8,55	-14,7	-2,44	-1,74	-3,21
22-04-2010 til												
08-04-2011	0,0027	0,0039	0,0051	35,2	-8,36	-20,6	34,6	-6,72	-5,18	-8,97	-4,30	-1,74
08-04-2011 til												
17-04-2012	0,0026	0,0035	0,0014	-0,41	-6,39	-15,3	-37,8	-3,34	-8,71	-6,73	-2,76	-3,64
17-04-2012 til											0,02	
22-10-2012	0,0024	0,0019	0,0045	-4,71	-0,80	0,58	-9,7	0,58	6,38	-0,56	9	-0,31
Sum	0,0039	0,010	-0,079	68,7	-17,3	-48,0	42,4	-18,0	-22,2	-18,7	-8,77	-8,90

Tabel 13: Stofbalance for de mængder kaliumformiat og DOC som tilføres jorden med nedbør og sjaap samt de stofmængder, der siver ud af rodzonen (75 cm's dybde). "Balance" angiver stofmængden i "Nedbør og sjaap" minus "Udvaskning" (positive tal: akkumulering i jorden, negative tal: netto stofafgivelse fra jorden). Bemærk, at perioderne ikke er lige lange. Optag i træer og ukrudt er ikke indregnet i modellen.

g/(m ² *periode)	Kaliumformiat			DOC		
	CB	FÆ	ØA	CB	FÆ	ØA
Nedbør og sjaap						
01-12-2009 til 22-04-2010	0,017	0,021	26,3	0,52	0,50	2,27
22-04-2010 til 08-04-2011	0,22	0,066	106	3,02	34,5	10,3
08-04-2011 til 17-04-2012	0,086	0,076	4,67	4,34	3,16	4,60
17-04-2012 til 22-10-2012	0,035	0,026	4,66	3,11	3,48	6,26
Sum	0,36	0,19	141	11,0	41,7	23,4
Udvaskning						
01-12-2009 til 22-04-2010	0,18	1,096	3,9	1,85	2,56	10,7
22-04-2010 til 08-04-2011	5,27	2,015	6	13,8	5,68	27,3
08-04-2011 til 17-04-2012	0,033	0,033	0,033	10,5	4,71	18,0
17-04-2012 til 22-10-2012	0,0054	0,0054	0,0054	1,83	0,64	2,43
Sum	5,49	3,15	9,7	28,0	13,6	58,4
Balance						
01-12-2009 til 22-04-2010	-0,16	-1,075	22,3	-1,33	-2,06	-8,48
22-04-2010 til 08-04-2011	-5,05	-1,949	100	-10,7	28,87	-17,0
08-04-2011 til 17-04-2012	0,053	0,044	4,64	-6,19	-1,56	-13,4
17-04-2012 til 22-10-2012	0,029	0,020	4,66	1,28	2,84	3,83
Sum	-5,13	-2,96	132	-17,0	28,1	-35,0

Konklusioner på vand

Den relativt høje ledningsevne på ØA skyldes høje koncentrationer af bl.a. Mg, K samt medfølgende anioner som nitrat og bikarbonat. På alle tre lokaliteter er ledningsevnen høj i starten af projektperioden, hvor træerne lige er blevet plantet i de nyanlagte plantebede, hvorefter den falder hen gennem den undersøgte periode. Det samme overordnede mønster ses på alle lokaliteter for koncentrationen af NO₃-N, Total N, P, K, Mg, Fe og Mn samt for Na og Cl på ØA. Koncentrationen af Ca er på alle lokaliteter relativt upåvirket af etableringen i begyndelsen af perioden.

Koncentrationen af P er generelt højere på ØA i forhold til de to andre lokaliteter. Dette kan ikke forklares ud fra forskelle i koncentrationen af P i jorden. En del af koncentrationerne overskrider kravet for drikkevand på 0,15 mg P/l.

Koncentrationen af K er tydeligvis højere på ØA sammenlignet med på CB og i FÆ. Dette er en effekt af, at jordbunden fra starten indeholdt mest K på ØA, samt anvendelsen af kaliumformiat her. På trods af, at der tilføres kaliumformiat til ØA alle vintrene, er den overordnede trend i hele perioden, at koncentrationen af K er faldende både i 40 og 75 cm's dybde. Dette peger på, at tilførslen af K med kaliumformiat ikke er styrende for størrelsesordenen af K-koncentrationen i starten

af projektperioden. Den udvaskning, der sker fra den relativt K-holdige jord i det nyetablerede plantebed, er dominerende de første år fra plantningen. Der vil over årene indstille sig en ligevægt.

Koncentrationerne af Ca og Mg afspejler koncentrationerne af disse stoffer i jordbunden under 20 cm.

På CB er koncentrationen af Na og Cl i jordvandet stigende igennem hele perioden, hvilket er en tydelig effekt af vejsaltningen. Koncentrationen af Na på ØA er høj i starten af undersøgelsen men falder hen gennem perioden. Dette skyldes sandsynligvis, at den omgivende råjord har en markant høj koncentration af Na og Cl efter mange års saltning, som diffunderer og transporteres mere eller mindre horisontalt.

I starten af perioden observeres enkelte jordvandsprøver med høje koncentrationer af formiat, hvorefter koncentrationen forbliver meget lav, oftest under detektionsgrænsen på 0,1 mg formiat/l. Dette tyder på at formiat omsættes effektivt.

For mange af stofbalancerne gælder det, at de i begyndelsen og et stykke hen i forsøgsperioden (1-2 år) er præget af etableringsfasen, og at udvaskningen overstiger stoftilførslen med nedbør og sjap. Denne forskel mellem tilførsel og udvaskning bliver mindre i slutningen af forsøgsperioden. Dette gælder for NO₃-N, Total N, K, Ca, Mg og SO₄-S.

Generelt er der for de fleste stoffer tale om udvaskning af relativt store stofmængder. Stofkoncentrationerne er også høje sammenlignet med mange andre undersøgelser i forskellige økosystemer (Pedersen et al. 1999, 2000a, 2000c). Årsagen til disse forhold skal antageligvis findes i det forhold, at der ved en tilplantning sker drastiske ting, når en ny jord bliver placeret i et nygravet jordbundshul. Ændringerne i jord- og jordvandskemia som følge af plantningen er markante, men aftager med tiden. På CB og i FÆ er udvaskningen af K større end tilførslen i de første tre perioder, mens dette forhold er vendt i den sidste periode. Overordnet sker der en netto frigivelse af K fra jorderne på CB og i FÆ, når man betragter alle beregningsperioderne under ét. Årsagen til dette er sandsynligvis, at plantemulden har et relativt højt indhold af K, som den kan frigive i perioden efter udplantning, men efterhånden som tiden går, falder udvaskningen og kommer mere i balance med tilførslen og forvitring. På ØA er K-balancen tydeligt påvirket af spredningen af kaliumformiat og af, at jorden fra starten af forsøget indeholdt betydelige mængder K, mere end på CB og i FÆ. Tilførslen og i særdeleshed udvaskningen er markant større på denne lokalitet sammenlignet med de to andre lokaliteter. Udvasningen overstiger tilførslen, hvilket antageligt skyldes, at koncentrationen af K er væsentlig højere i jorden på denne lokalitet, og at K-koncentrationen i jordvandet fra starten er høj og faldende med

tiden. Målingerne afspejler på denne måde AllétræsMuld'ens høje K-koncentration ved starten af forsøget. I den sidste beregningsperiode er udvaskningen af K relativt tæt på tilførslen. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde kaliumformiat-tømiddel, som spredes pr. kvm, og den mængde som lander i plantehullerne (pr. kvm), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, og variationen er stor fra ganske få procent op til 7 %.

Balancerne er som jordvandskoncentrationerne tydeligvis påvirket af, at der anvendes forskellige tømidler på de forskellige lokaliteter. På CB sker der en akkumulering af Na og Cl i de første perioder, det ser dog ud til, at jorden med tiden med tiden nærmer sig en ligevægt med Na og Cl, og at der i de sidste perioder udvaskes mere, end der tilføres. Generelt bliver forskellen mellem tilført og udvasket Na og Cl mindre med tiden. Hvis man ser på forholdet mellem den mængde salt-tømiddel, som spredes pr. kvadratmeter, og den mængde, der lander i plantehullerne (pr. kvm), er det overraskende lidt, der lander i plantehullerne, omkring 8 %.

Udvaskningen af formiat er meget lille i slutningen af forsøgsperioden og styret af, at koncentrationen er faldende gennem forsøget. Balancen peger på, at den mængde formiat, der bliver tilført som tømiddel, bliver nedbrudt i jorden.

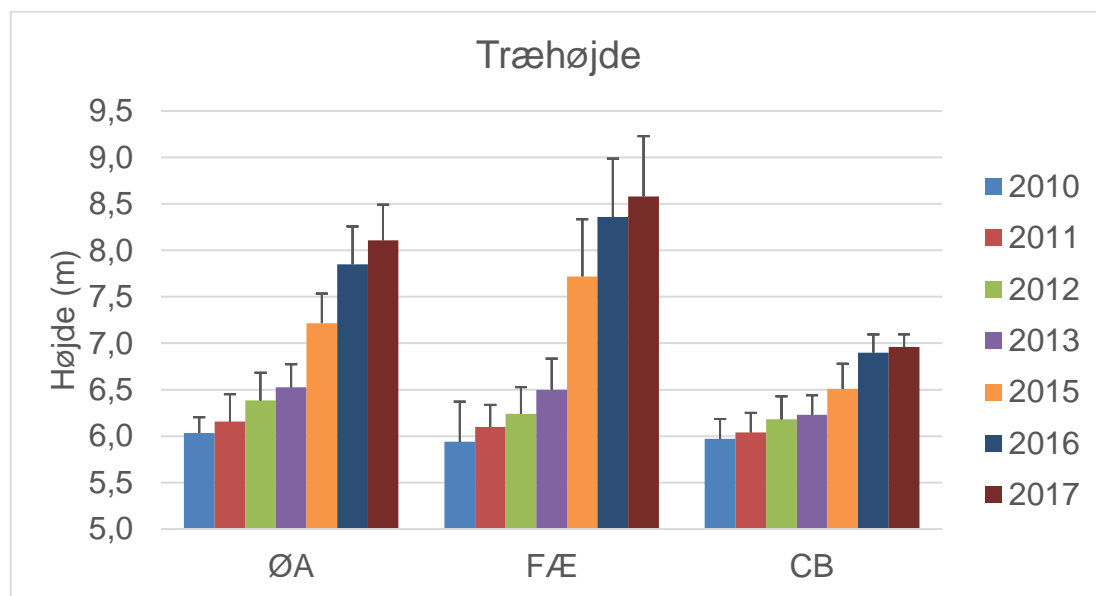


Saltstress ses tydeligt på blade langs vestkysten, hvor saltbelastningen er naturlig.

Træer

Højde og stammeomkreds

Træernes højde og stammeomkreds i 1 meters højde er målt i august i perioden 2010-2017, dog undtaget 2014, hvor højdemålingen var fejlbehæftet.



Figur 17: De gennemsnitlige træhøjder på de tre lokaliteter fra år 2010 til 2017, dog undtaget 2014.

Det fremgår af figuren, at træerne på ØA og FÆ i løbet af de syv år har opnået en væsentlig højere højde end træerne på CB. I 2017 er træerne i gennemsnit 7,0 m høje på CB, 8,1 m høje på ØA og 8,6 m høje i FÆ.

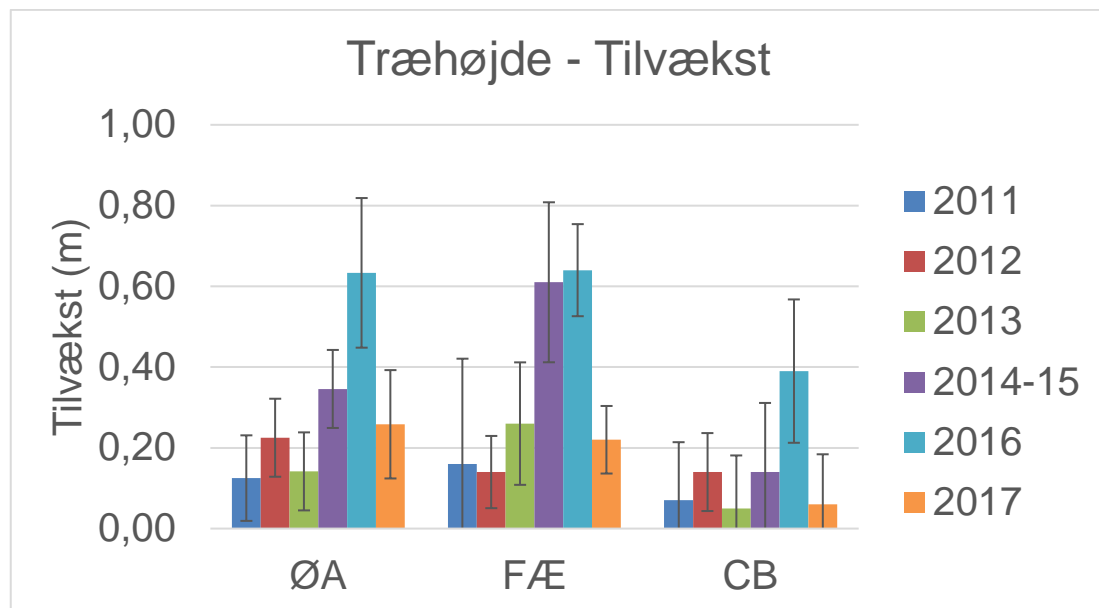
Tabel 14: Gennemsnitlig træhøjde er analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	I alt
CB	A	A	A	A	C	B	B	B
FÆ	A	A	A	A	A	A	A	A
ØA	A	A	A	A	B	A	A	A

Der er ikke statistisk signifikant forskel på træhøjderne mellem lokaliteterne de første fire år fra plantningen, hvorimod der er signifikant forskel mellem lokaliteterne i år 2015-2017.

Samlet set over årene er træerne på CB signifikant lavere på CB end i FÆ og på ØA.

Højden kan udtrykkes som den kumulerede tilvækst. Den årlige tilvækst er et andet relevant mål for træernes vækst.



Figur 18: Den gennemsnitlige tilvækst i træhøjden på de tre lokaliteter fra år 2011 til 2017, dog undtaget 2014, der er vist som et gennemsnit af tilvæksten i år 2014 og 2015.

Tabel 15: Den gennemsnitlige tilvækst (meter) på hver af de tre lokaliteter. Bemærk, at år 2014 og -15 er slået sammen. Der er beregnet en gennemsnitlig årlig tilvækst for de to år. Denne afvigelse skyldes de manglende højdemålinger i 2014.

	2011	2012	2013	2014/15	2016	2017
CB	0,07	0,14	0,05	0,14	0,39	0,06
FÆ	0,16	0,14	0,26	0,61	0,64	0,22
ØA	0,13	0,22	0,14	0,35	0,63	0,26

Tabel 16: Tilvæksten pr. år er analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2011	2012	2013	2014-15	2016	2017	I alt
CB	A	B	B	C	B	C	B
FÆ	A	AB	A	A	A	A	C
ØA	A	A	AB	B	A	A	A

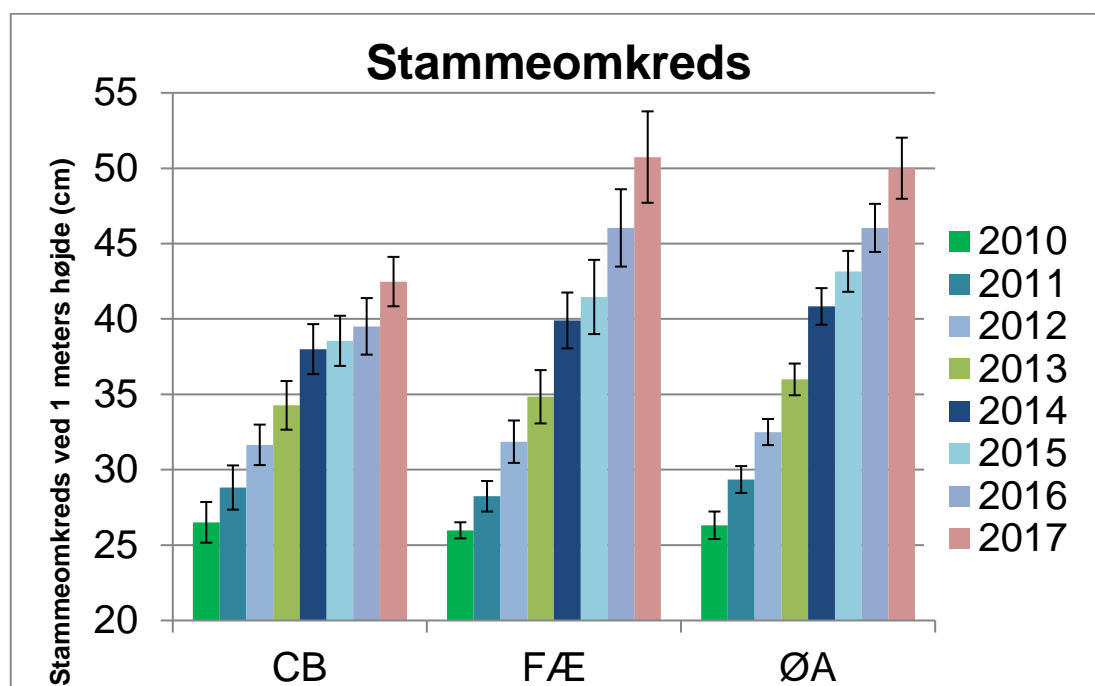
Det bemærkes, at CB er i laveste gruppe undtagen i 2011, hvor tilvæksten var lige lav på alle lokaliteter. Tilsvarende var FÆ i højeste gruppe i alle årene undtagen 2011.

Set over hele perioden er højdetilvæksten på CB signifikant lavere end på FÆ og ØA.



Træhøjden måles med en hagløf højdemåler.

Træernes vækst er målt både som højden (herover) og som tykkelsesvæksten. Nedenstående viser træernes omkreds 1 meter over basis.

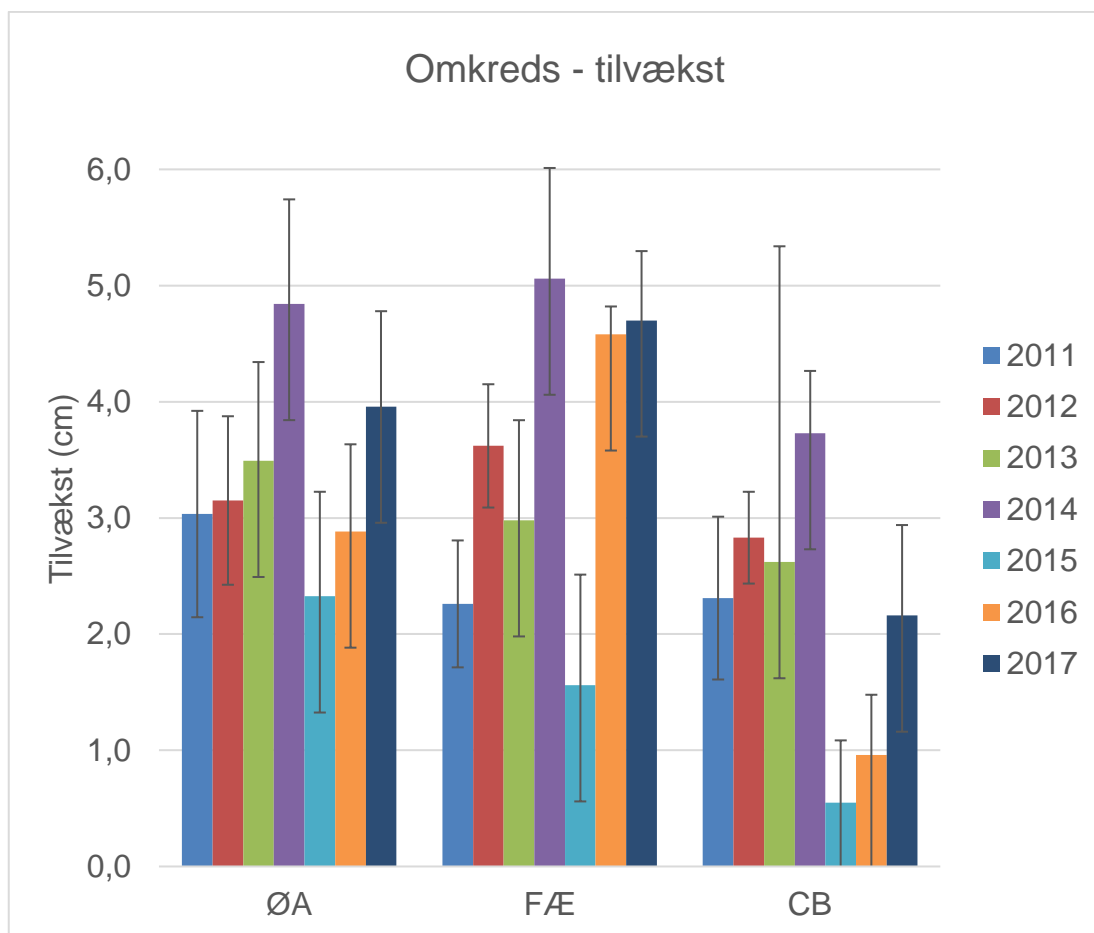


Figur 19: Den gennemsnitlige stammeomkreds i 1 meters højde for træerne på de tre lokaliteter.

På baggrund af den målte stammeomkreds, kan tilvæksten beregnes som forskellen mellem årene.



Træernes tykkelses måles af Mads Madsen Krag.



Figur 20: Den årlige gennemsnitlige tykkelsestilvækst på de tre lokaliteter.

Tabel 17: Datagrundlaget for ovenstående figur.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CB	2,3	2,8	2,6	3,7	0,6	1,0	2,2
FÆ	2,3	3,6	3,0	5,1	1,6	4,6	4,7
ØA	3,0	3,2	3,5	4,8	2,3	2,9	4,0

Tabel 18: Omkreds-tilvæksten pr. år er analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	B	B	A	A	A	B	A	B
FÆ	A	AB	A	A	AB	AB	A	A
ØA	B	A	A	A	B	A	A	A

Det ses, at tykkelsesvæksten i alle årene fra 2011 til 2017 har været mindst på CB. Det ses også, at der er markant forskel på årene hen over de tre lokaliteter. Da

årsvariationen følger samme mønster på de tre lokaliteter, må forskellene tilskrives variationer i vejret. Uanset om man ser på et år med stor vækst eller lille vækst vokser træerne på CB mindre end på ØA og FÆ.

Samlet set over årene fra 2011 til 2017 er der signifikant mindre gennemsnitlig tykkelsesvækst pr. år på CB i forhold til FÆ og ØA.



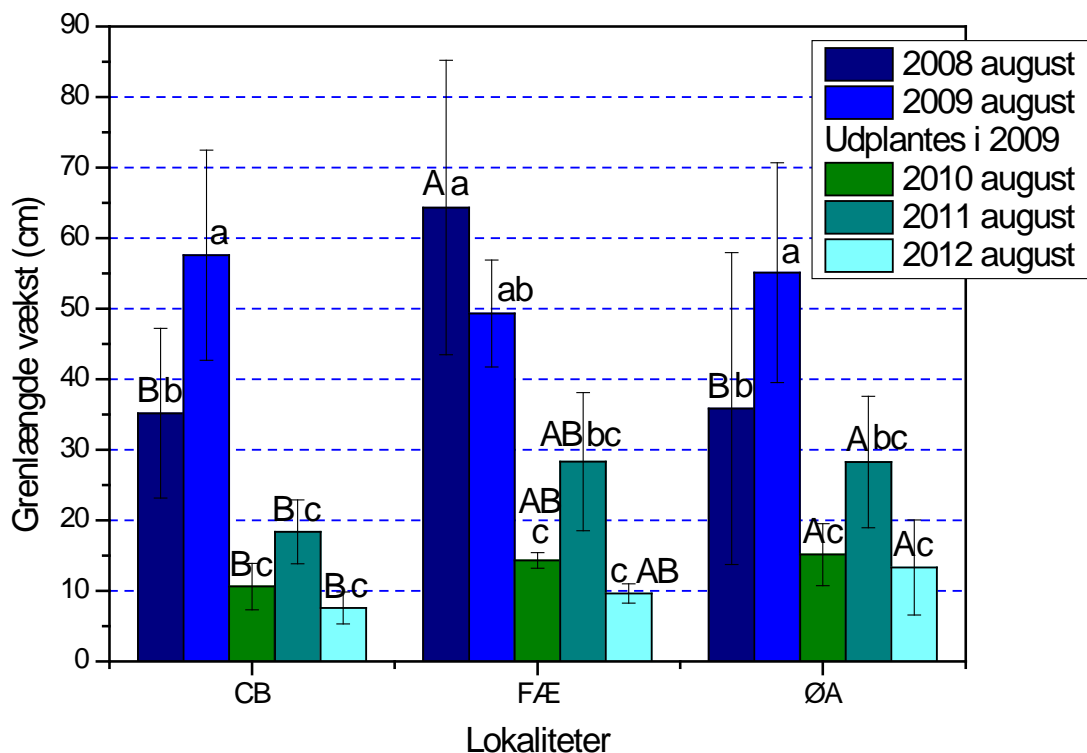
Blade og grene undersøges.

Grenvækst

Den årlige grenlængdevækst er bestemt for forsøgstræerne for perioden 2008-2012. Grenlængdevækst er bestemt for to repræsentative grene, der vender mod hhv. øst og vest. De grene, der er blevet anvendt, har så vidt muligt ikke været skygget. Alle grenene er i 2012 ved at være så store og stive, at de ikke kan måles i fremtiden. Resultaterne fremgår af figur 22.

I 2008 var der statistisk signifikant forskel på de træer, der skulle plantes ud på de forskellige lokaliteter. Denne forskel var imidlertid helt væk i 2009. Vi antager derfor, at træernes grenvækst var lige lange ved udplantning på de tre lokaliteter. For alle træerne gælder det, at deres grenlængdevækst var betydeligt større, mens de stod på Kortegaards Planteskole inden udplantningen i efteråret 2009 sammenlignet med væksten i de efterfølgende år. Denne forskel er statistisk signifikant i hovedparten af tilfældene, men i to tilfælde er den dog ikke signifikant.

Når man sammenligner lokaliteterne med hinanden efter udplantningen, så har ØA en signifikant større grenlængdevækst i forhold til CB i alle tre år, mens FÆ har en grenlængdevækst der ligger mellem observationerne på CB og ØA og ikke adskiller sig signifikant fra dem. Hvis forskellen i anvendte tømidler mellem lokaliteterne har haft indflydelse på træernes grenlængdevækst, peger resultaterne på, at traditionelt vejsalt har resulteret i en mindre grenlængdevækst sammenlignet med anvendelsen af kaliumformiat.



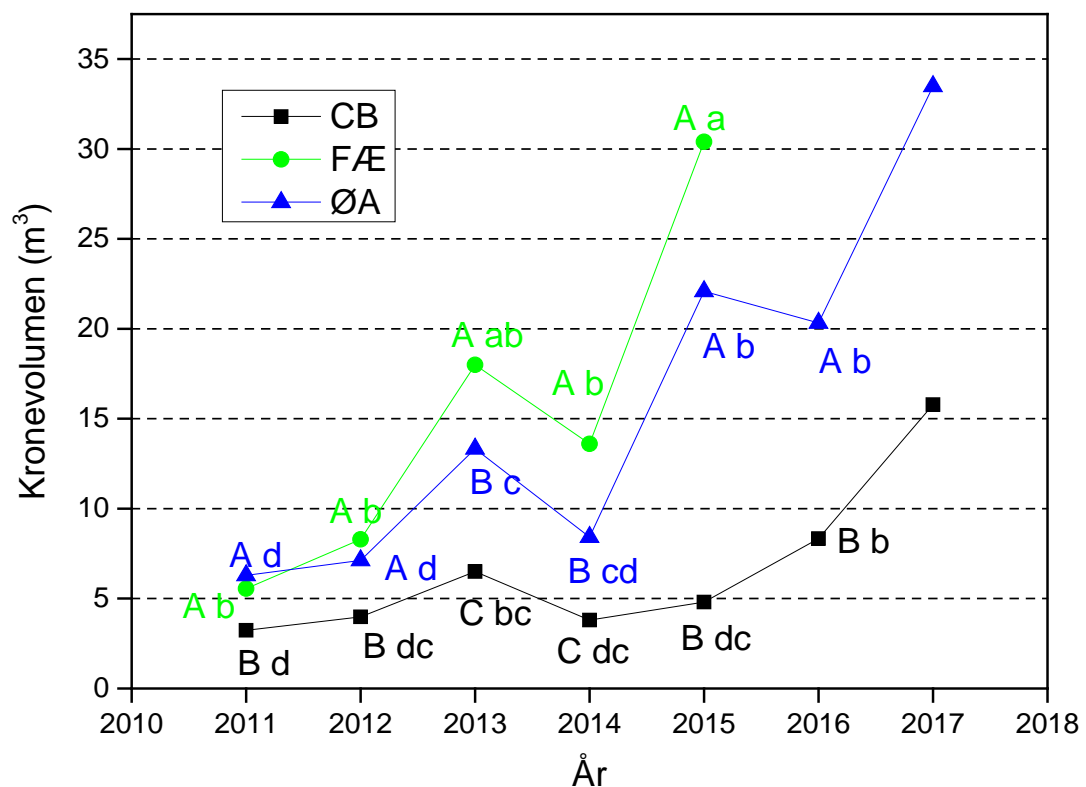
Figur 21: Den gennemsnitlige grenlængdevækst for de forskellige lokaliteter og år. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig grenvækst mellem forskellige lokaliteter inden for samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig grenvækst mellem forskellige år.

Kronestørrelse og densitet

Trækronernes størrelser og densitet blev bestemt i slutningen af august hvert år i perioden fra 2011 frem til og med 2017 ved hjælp af billedanalyse med softwareprogrammet UrbanCrown fra United States Department of Agriculture. UrbanCrown analyserer billeder af trækroner og bestemmer en relativ kronestørrelse ved at opbygge kronen af skiver og efterfølgende omsætte den relative størrelse af trækronen til kubikmeter ud fra indtastede data ved billedoptagelsen. De indtastede data er den horisontale afstand til træet fra kameraet da billedet blev taget, den horisontale vinkelforskel mellem jordens overflade ved træets basis og træets top ved kameraets placering da billedet blev taget samt kompasvinklen fra kamera til træet. UrbanCrown bestemmer også trækronernes densitet, ved at bestemme den procentdel af krone-arealet på billedet som består af plantedele, i forhold til den del der er himmel inden for kroneafgrænsningen. Metoden er beskrevet i detaljer i Winn et al. (2011). Til bestemmelse benyttede vi et kamera fra Lumix-Panasonic (DMC-FT3), samt en kombineret højde-, vinkel- og afstandsmåler fra Haglöf (Vertex IV og transponder T3). Billedet af hvert træ blev så vidt muligt taget fra nøjagtig den samme position hvert år. Inden opmålingerne i august 2015 blev positionerne for billedoptagelserne ændret, idet det ellers ikke var muligt at få tilstrækkelig med blå

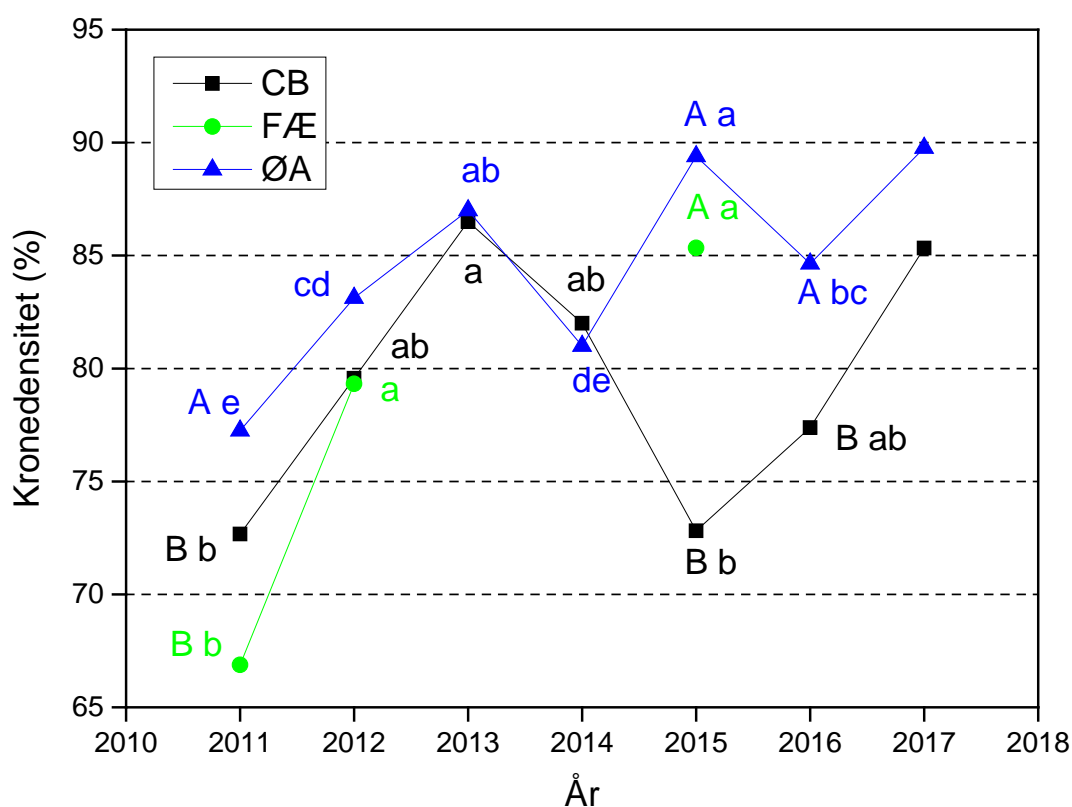
himmel bag trækronerne. Dette skyldtes at træerne var vokset, at omkringværende træer var vokset, samt at nye bygninger, der skyggede for himlen, var blevet opført. Af samme grunde kunne træerne i FÆ ikke genmåles efter 2015 og densitetsmålinger blev opgivet i FÆ i 2013 og 2014. Disse faktorer, samt at der blev fældet træer på CB, var igen årsag til, at der kun var tre træer som kunne måles i august på CB, samt ni træer på ØÆ. Der er derfor ikke lavet statistik for denne afsluttende måling.

Kronevolumenet er statistisk signifikant højere for både FÆ og ØA sammenlignet med CB i alle årene, og den bliver større med tiden (Figur 23), mens der ikke er forskel mellem ØA og FÆ i 2011, 2012 og 2015. FÆ har dog et signifikant større kronevolumen i 2013 og 2014. Generelt stiger kronevolumenet med tiden, men beskæringen i marts 2014 på FÆ, CB og ØA giver en mindre kronestørrelse, der ikke er signifikant større end den var to år tidligere. Træerne på ØA bliver også beskåret i marts 2016, men dette ændrer dog ikke kronestørrelsen signifikant. Træerne på de andre to lokaliteter bliver ikke beskåret efter 2014. Hvis forskellen i anvendelse af tømidler mellem lokaliteterne har haft indflydelse på træernes kronevolumen, peger resultaterne på, at traditionelt vejsalt har resulteret i en betydelig mindre kronevolumen sammenlignet med anvendelsen af K-formiat.



Figur 22: Den gennemsnitlige kronevolumen for de forskellige lokaliteter i 2011 og 2012. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig kronevolumen mellem forskellige lokaliteter inden for samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig kronevolumen mellem forskellige år.

Kronedensiteten er i perioder forskellig på de forskellige lokaliteter. I 2011 har trækronerne på ØA signifikant større kronedensitet end tilfældet er for træerne på CB og FÆ, men denne forskel er forsvundet i 2012, 2013 og 2014. Til gengæld er kronedensiteten steget signifikant fra 2011 til 2012 på alle lokaliteter. I vækstsæsonen 2014 falder kronedensiteten på CB og ØA og igen på CB året efter (2015), hvor kronevolumenet på CB er signifikant og markant lavere end på ØA. I den samme periode stiger kronedensiteten på ØA. I 2015 og 2016 er kronedensiteten signifikant lavere på CB end på ØA. Der ser dog ud til, at der over tiden sker en udvikling, hvor kronedensiteten på CB nærmer sig kronedensiteten på ØA. Hvis forskellen i anvendelse af tømidler mellem lokaliteterne har haft indflydelse på træernes kronedensitet, peger resultaterne på, at traditionelt vejsalt i visse år har resulteret i en signifikant mindre kronedensitet sammenlignet med anvendelsen af K-formiat. Denne effekt er dog ikke tydelig eller signifikant i alle årene. Tømidlet har større effekt på kronedensiteten end på kronevolumenet.

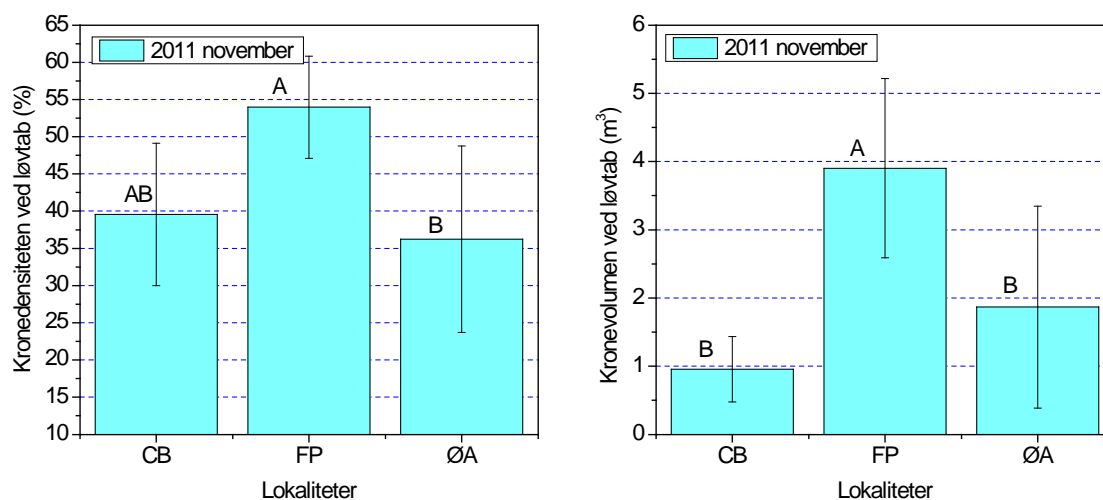


Figur 23: Den gennemsnitlige kronedensitet for de forskellige lokaliteter i 2011 og 2012. Forskellige store bogstaver markerer signifikant forskellig kronedensitet mellem forskellige lokaliteter inden for samme år. Forskellige små bogstaver markerer signifikant forskellig kronedensitet mellem forskellige år.

Løvtab

Der er peget på, at saltstress ofte fører til en forkortet vækstperiode som følge af et senere løvspring og et tidligere løvtab. Derfor blev løvtabet intensivt fulgt i efteråret 2011. Da ca. 50 % af træerne på ØA blev visuelt vurderet til at have tabt ca. 50 % af bladene eller mere, blev kronevolumenet og kronedensiteten bestemt via PC-programmet UrbanCrown, som beskrevet i ovenstående. Det skete d. 11. november 2011. Alle tre lokaliteter indgik i denne undersøgelse. Resultaterne er angivet i figur 25 og 26.

Både kronedensiteten og -volumenet er større i FÆ sammenlignet med CB og ØA, der er dog ikke statistisk signifikant forskel på kronedensiteten mellem FÆ og CB. Den 11. nov. havde træerne i FÆ ikke mistet nær så mange blade som på de to andre lokaliteter. Der er ikke noget i dette materiale, der tyder på, at anvendelsen af forskellige tømidler, har haft nogen effekt på løvtabstidspunktet. Når man ser på billederne af træerne og i talmaterialet, kan man se, at både på ØA og CB er der meget stor variation i kronedensiteten mellem træerne. Dette er illustreret i figur 25, som også viser, at der generelt var mange flere blade tilbage på træerne i FÆ sammenlignet med CB og ØA.



Figur 24: Den gennemsnitlige kronedensitet og kronevolumen for de forskellige lokaliteter ved løvtab d. 11. november 2011. Forskellige store bogstaver indikerer signifikante forskelle mellem forskellige lokaliteter.

Løvtab 11. november 2011

ØA



CB



FP



Figur 25: Billeder af tre træer fra hver lokalitet ved løvtab d. 11. november i 2011 (på det tidspunkt hvor ca. 50 % af træerne på ØA blev visuelt vurderet til at have tabt ca. 50 % eller mere af bladene). De tre træer illustrerer hhv. det træ på lokaliteten med færrest blade, med et gennemsnitligt antal blade og med flest blade.

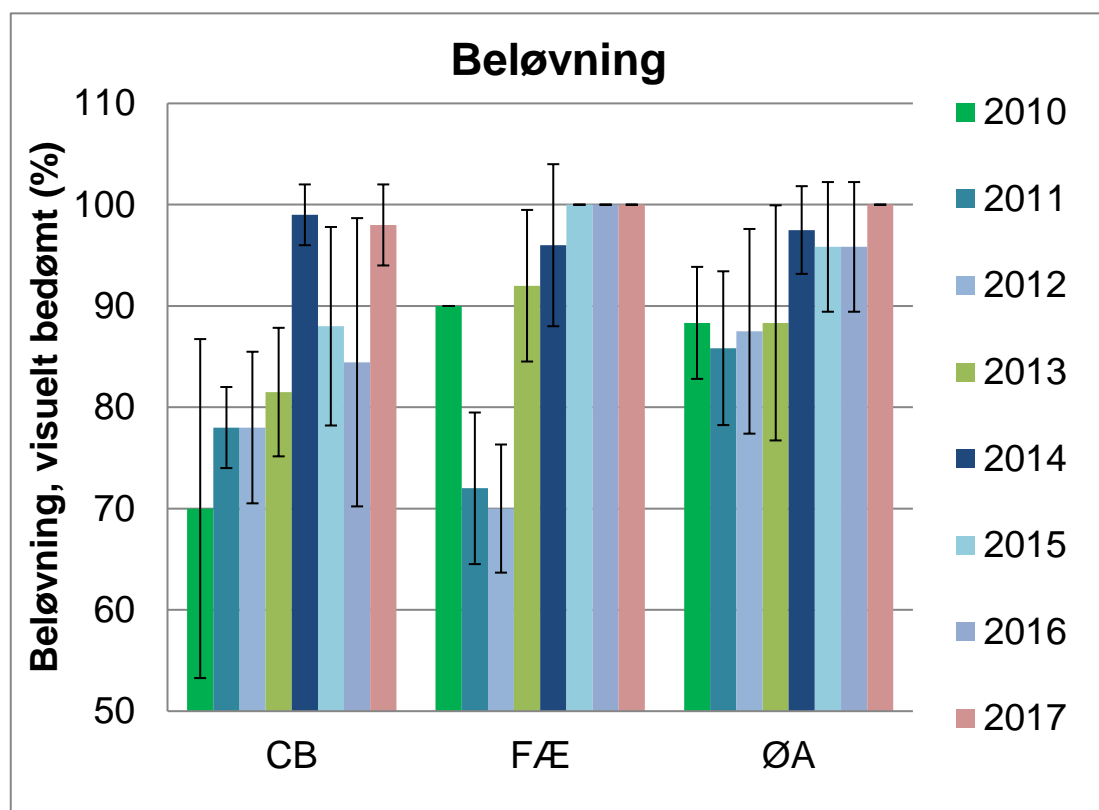
Løvfaldsmålingerne skal ses i forhold til kronevolumen og -densitet i august 2011, som er beskrevet i kapitlet her over. Før løvtab har ØA den største kronevolumen og CB den mindste. Under løvfald har FÆ langt den største kronevolumen og CB den mindste. Alle steder er kronerne blevet mindre, men i FÆ er reduktionen ikke så stor som på CB og ØA. Kronedensiteten før løvfald er højest på ØA og mindst i FÆ. Ved løvfald er densiteten højest i FÆ og mindst på ØA. Den største reduktion er altså sket på ØA og den mindste reduktion i FÆ.

Scoring af træerne

I den statistiske behandling af scoringsresultaterne og den tilhørende formidling er der taget hensyn datasættets egenskaber. Der er skelnet mellem kontinuerte data dvs. en trinløs skala som fx mål og procenter og så en klassificering som fx inddeling på en 10-trinsskala, hvor hvert trin ikke er lige stort. Figurer og statistik er ikke ens for de to typer resultater. Der er brugt ANOVA i JMP og R til behandling af kontinuerte data på årsniveau og mixed model til samlede analyser over årene, mens ordinale data er behandlet med CLMM i programmet R.

Beløvning

Beløvningen er vurderet visuelt i august hvert år fra 2010 til 2017. Beløvningen vurderes på en skala fra 0-100 % ved at betragte antallet af blade, der er på de enkelte grene. Hvis bladene på den enkelte gren sidder tæt, giver det en høj beløvning. Det er altså antallet af blade pr. gren, der vurderes og ikke antallet af blade i alt. Hvis grenene er meget langt fra hinanden, og derfor har mange blade, giver det en høj beløvning. Hvis grenene sidder tættere på hinanden, er der generelt færre blade på hver gren, hvilket giver en lavere beløvning.



Figur 26: Den gennemsnitlige beløvning (visuelt vurderet) på de tre lokaliteter hvert år fra 2010 til og med 2017.

Tabel 19: Data-tabel med den gennemsnitlige belønningsscore på de tre lokaliteter hvert år.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CB	70	78	78	82	99	88	84	98
FÆ	90	72	70	92	96	100	100	100
ØA	88	86	88	88	98	96	96	100

Der ses en tendens til dårligere belønning på alle lokaliteter i den første del af perioden i forhold til den anden del, hvilket tilskrives, at træernes påvirkes negativt af omplantningen.

CB har den laveste belønning 5 ud af de 8 år. Med udgangspunkt i, at træerne var ens ved udplantning, er det bemærkelsesværdigt, at CB har en markant lavere belønning allerede i 2010. Der er altså en faktor, der reducerer belønningen øjeblikkeligt på CB. De umiddelbare faktorer er vind og salt på CB og skygge og gnav i FÆ.

Tabel 20: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	B	B	B	A	A	B	B	A	B
FÆ	A	B	B	A	A	A	A	A	A
ØA	A	A	A	A	A	A	A	A	A

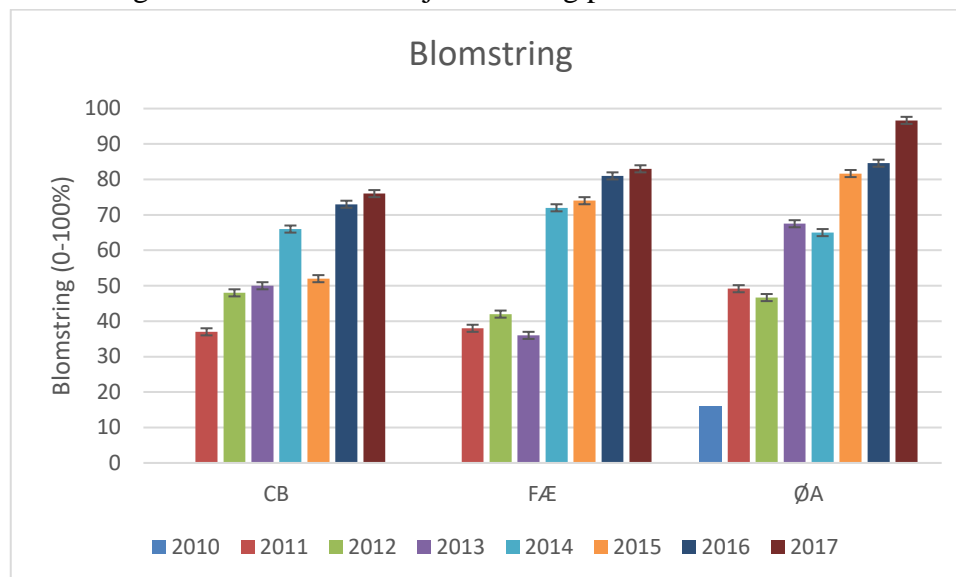
Samlet set er der signifikant dårligere belønning på CB end i FÆ og på ØA.



Træerne vurderes nøje for scoringsparametrene.

Blomstring

Blomstring er opgjort, som en vurdering af, hvor mange procent af kronen, der er dækket af blomster. Blomstring er en vigtig funktion for træerne, og derfor typisk den sidste funktion træerne ”slipper” ved dårlig trivsel. Det er velkendt, at næsten døde træer bruger de sidste energireserver på en kraftig blomstring/frøsætning - panikblomstring. Blomstringen er således en vanskelig parameter at tolke, idet stor blomstring både kan indikere høj vitalitet og panik.



Figur 27: Den gennemsnitlige blomstring (visuelt vurderet) på de tre lokaliteter hvert år fra 2010 til og med 2017.

Tabel 21: Data-tabel med den gennemsnitlige blomstring på de tre lokaliteter hvert år.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CB	0	37	48	50	66	52	73	76
FÆ	0	38	42	36	72	74	81	83
ØA	16	49	47	68	65	82	85	97

Tabel 22: Analyse af signifikansgrupper hvert år. ”I alt” viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	B	A	A	AB	A	B	B	B	B
FÆ	B	A	A	B	A	A	AB	B	B
ØA	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Der er signifikante forskelle mellem lokaliteterne i år 2010, hvor der kun var blomster på ØA. I år 2013 var der signifikant færre blomster i FÆ end på CB. I 2015, 2016 og 2017 var der signifikant færre blomster på CB end i ØA.

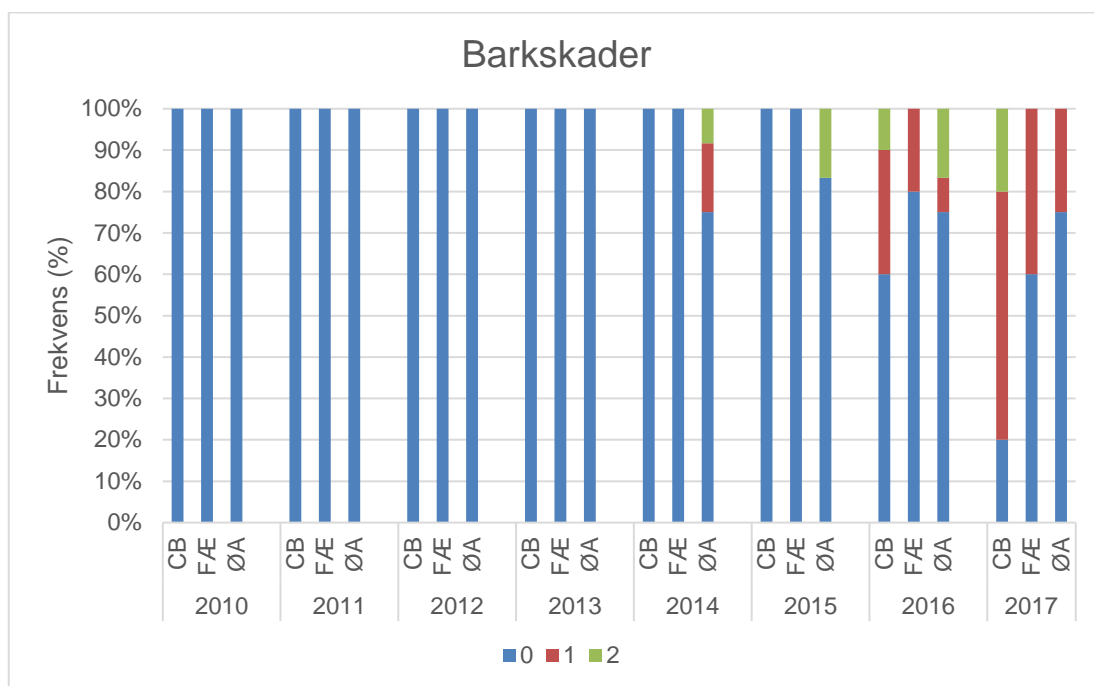
Samlet set over årene er der signifikant flere blomster på ØA end på CB og FÆ.

Barkskader

Barkskader er fokuseret på stammens og ikke på hele træets bark. Scoringen er en optælling af åbne sår, dvs. overvoksede sår tælles ikke med.

Det er meget almindeligt, at parktræer (FÆ) og vejtræer i græsrabatter (CB) bliver såret ved basis som følge af græsslåning eller anden "arealpleje", og at vejtræer ved parkeringspladser og fortove (ØA) bliver påkørt. Et større barksår vil have negative konsekvenser for træets funktion herunder kronens farve, beløvning, vækst mv.

Barkskaderne er vurderet fra 2010 til 2017.



Figur 28: Frekvensen af antal sår på træerne på de tre lokaliteter.

Der er kun fundet enkelte små sår på træerne i undersøgelsen. Det vurderes, at de få og små sår ikke har nogen nævneværdig negativ påvirkning på træernes vækst, vitalitet, øvrige scorer eller på andre måder indvirker på undersøgelsen resultater.

Der er ikke signifikant forskel på forekomsten af sår på lokaliteterne.

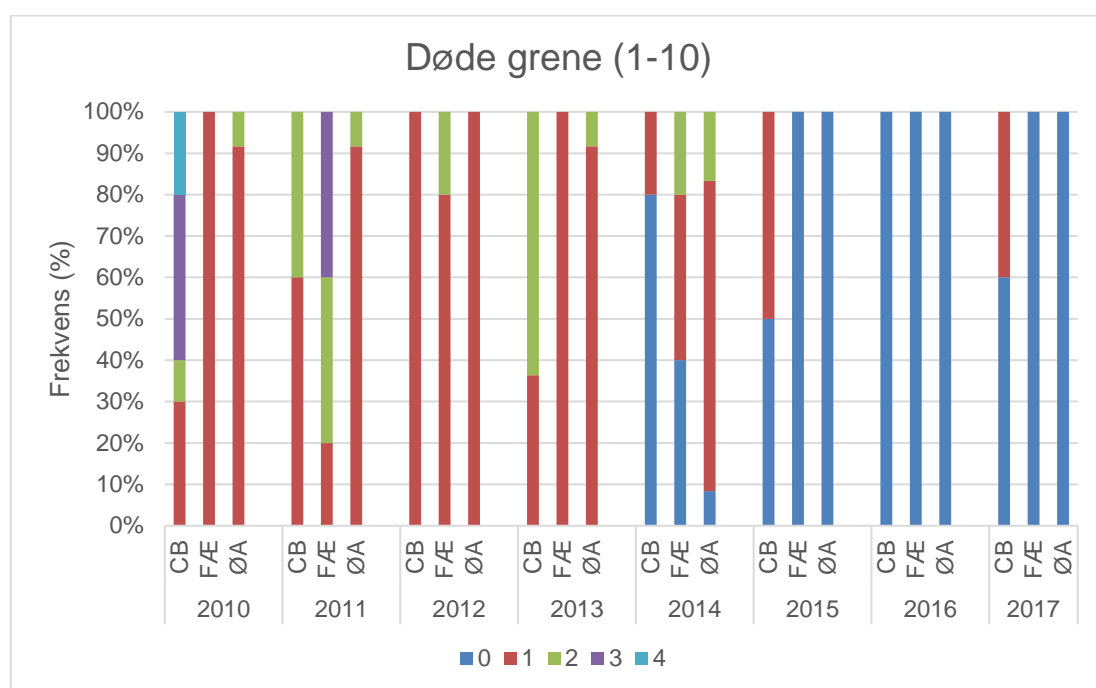
Døde grene

Omfanget af døde grene er vurderet fra 1 til 10. Scoren 1 gives ved en enkelt død gren, mens 10 gives ved omfattende grendød. Døde grene omfatter alle skudstørrelser, der ikke længere er levende. Døde grene knækker typisk af træet i løbet af vinteren, og antallet af døde grene kan derfor falde fra år til år. Grendøden er vurderet i august 2010 til 2017.

I fire af otte år er der flest døde grene på CB. I 2011, 2012 og 2014 var der ikke flest døde grene på CB og i 2016 var der slet ingen døde grene.

Det er iøjefaldende, at antallet af døde grene er faldende i undersøgelsesperioden. På CB er der få døde grene i den sidste del af perioden, mens der ikke er døde grene på ØA og i FÆ fra 2015 til 2017.

En mulig forklaring på den tendens er røddernes langsomme etablering efter plantning. Det nyplantede træ opnår balance mellem rod og top ved at afsætte døde grene. Denne regulering er formodentlig mere nødvendig, når rødderne påvirkes af salt (CB), end når de ikke påvirkes (ØA og FÆ).



Figur 29: Fordelingen af scoren for døde grene over årene 2010 til 2017 på de tre lokaliteter. Der er scoret fra 0 til 4 på en skala fra 0 til 10.

Tabel 23: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	A	A	A	A	A	A	A	A	A
FÆ	AB	A	A	A	A	C	B	B	AB
ØA	B	A	A	A	B	B	A	B	B

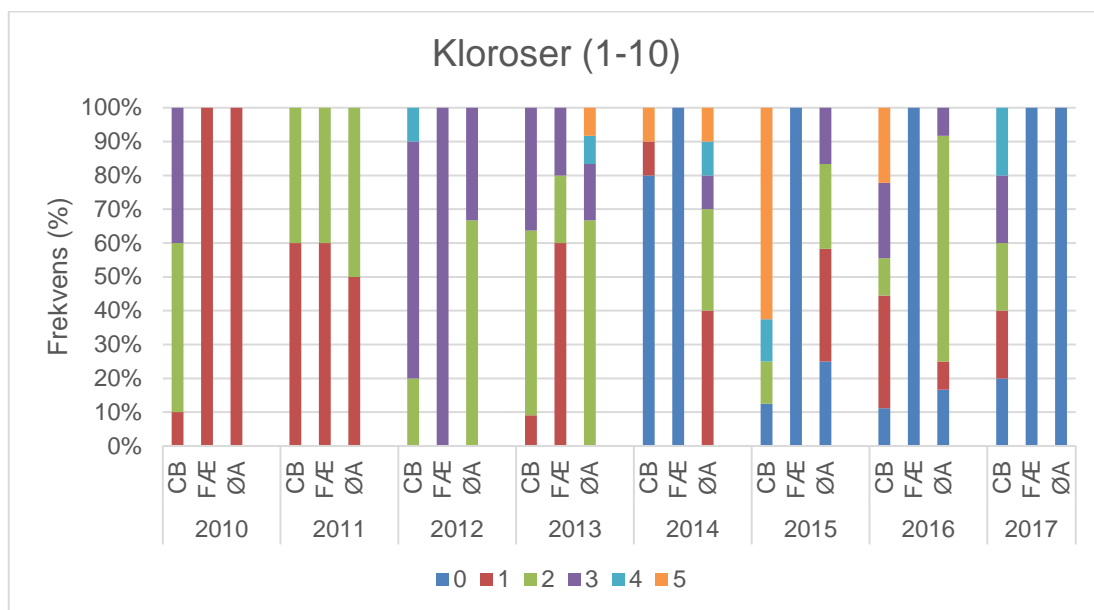
Der er i perioden fra 2010 til 2017 signifikant flere døde grene på CB end på ØA, mens FÆ ligger intermediært.

Kloroser

Kloroser er ændringer af bladfarven. Ændringerne er naturlige om efteråret, hvor høstfarverne i princippet er kloroser. Ordet bruges oftest om afvigende farve i et mindre område på bladene og uden for den periode, hvor bladene forventes at skifte farve. Kloroser har mange årsager, der kan inddeles i grupper. Forsyningen af vand og næringsstoffer til bladet er en vigtig årsag. Årsagen kan også være ophobning af giftstoffer i bladene. Klimatiske årsager som solbrand, frost eller udtørring ses også. Kloroser kan også skyldes skadedyr. Her behandles alle former for arealbegrænset farveskift samlet som kloroser. Når kloroserne udvikler sig til døde områder, opgøres de særskilt som "Nekroser". Når insektangreb medfører direkte gnav, altså manglende dele af bladene, behandles det under afsnittet "Insektgnav".

Metoden til vurdering af kloroser er at besigtige ét træ ad gangen og vurdere omfanget af misfarvninger på en skala fra et til ti. 1 gives, hvis der ikke findes kloroser på træet, 2, hvis der er én til to kloroser på bladene, 3 gives hvis der er få påvirkede blade. 10 gives, hvis alle blade er misfarvede. Scoren er altså et udtryk for hele træets generelle niveau af kloroser.

Omfanget af kloroser er vurderet i august i årene 2010-2017.



Figur 30: Frekvensen af score for kloroser. Der er vurderet kloroser på alle tre lokaliteter fra 2010 til 2017.

Det ses tydeligt, at der er forskel på årene mht. kloroser. Årene 2012 og 2013 skiller sig ud med mange kloroser. De fleste træer i disse år får score 3 eller 2, mens der i 2017 langt overvejende blev tildelt score 1. Figuren viser, at det er afgørende, at måle kloroser i flere år og kun analysere det indbyrdes forhold mellem lokaliteterne og ikke det absolutte niveau.

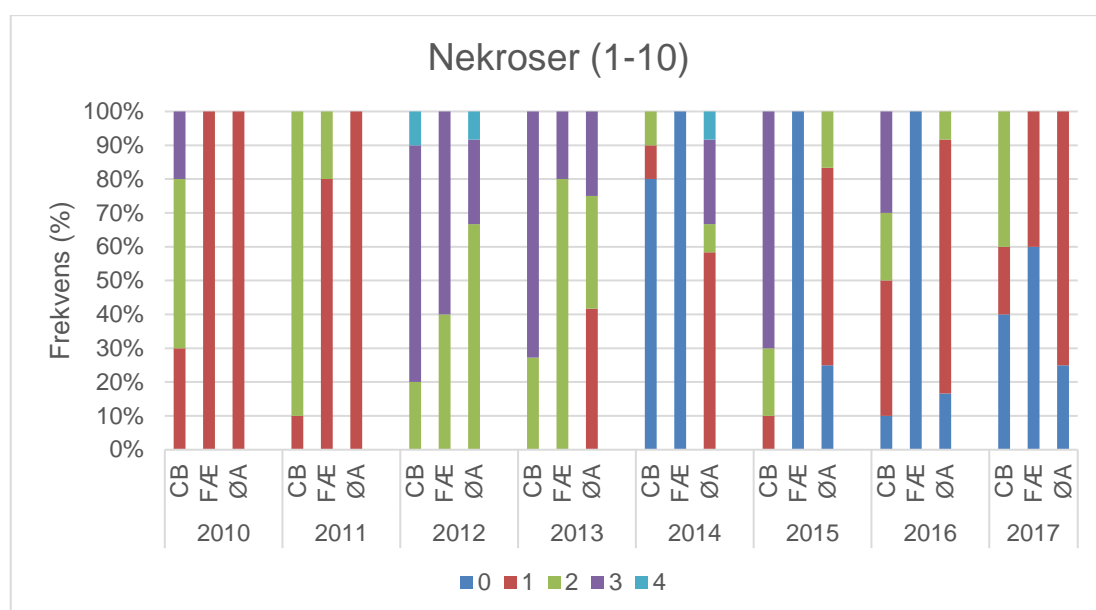
Tabel 24: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	A	A	A	A	B	A	A	A	A
FÆ	AB	A	A	A	B	C	B	B	C
ØA	B	A	A	A	A	B	A	B	B

Der er totalt set signifikant forskel på antallet af kloroser på de tre lokaliteter. Der er signifikant flest kloroser på CB og signifikant færrest i FÆ. Der er stor og signifikant variation mellem årene. Der er flest kloroser i 2013, mens der er færrest i 2017. Der er ingen systematisk udvikling i antallet af kloroser.

Nekroser

Hvis kloroserne skyldes årsager, der er så alvorlige, at bladcellerne dør, opstår en nekrose. Nekroserne er opgjort på samme måde og samtidigt som kloroserne. Det vil sige, at hvert træ på de tre lokaliteter er vurderet en gang pr. år fra 2010 til 2017. Skalaen går fra 1 til 10 og dækker over samme spænd som klorose-scoringerne. 1 gives hvis findes en nekrose. 2 gives, hvis der er enkelte nekroser. 10 gives hvis alle blade er døde.



Figur 31: Frekvensen af score for nekroser på de tre lokaliteter i årene fra 2010 til 2017.

Det fremgår af ovenstående figur, at år 2012 og 2013 adskiller sig markant fra de andre år ved at have flere nekroser. Begge år er der i gennemsnit flest nekroser på CB. I lighed med undersøgelsen af kloroser, så viser års-sammenligningen, at det er vigtigt kun at sammenligne relative forskelle mellem lokaliteterne eller som her, at have en længerevarende undersøgelse.

I syv af de otte år, som træerne er undersøgt, er der flest nekroser pr. træ på CB. Der er signifikant forskel på lokaliteterne i 6 af årene. Heraf ligger gennemsnittet højest på CB i 5 år. I 2014 brydes mønsteret ved, at der er signifikant flest nekroser på ØA.

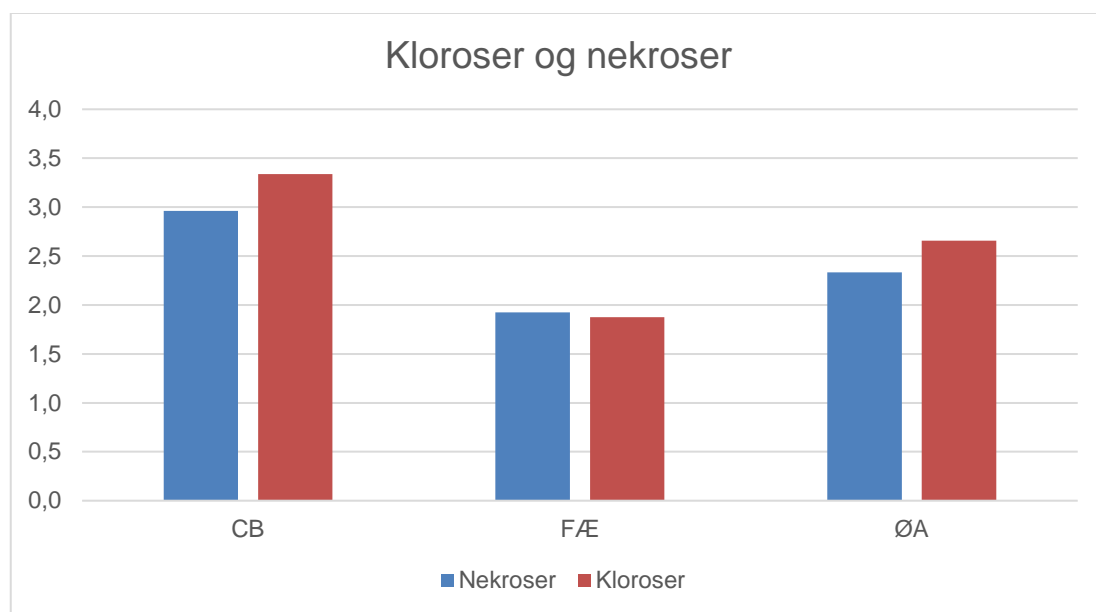
Tabel 25: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	A	A	A	A	B	A	A	A	A
FÆ	B	AB	A	AB	B	C	C	A	C
ØA	B	B	A	B	A	B	B	A	B

Det overordnede resultat er, at der er signifikant forskel mellem de tre lokaliteter. Der er signifikant flest nekroser på CB og signifikant færrest i FÆ.

Kloroser og nekroser

Når forekomsten af kloroser og nekroser sammenlignes på de ovenstående figurer, så er det tydeligt, at 2012 og 2013 skiller sig ud med et højere niveau.



Figur 32: Det gennemsnitlige resultat af scoringer af hhv. nekroser og kloroser på de tre lokaliteter indregnet alle data fra 2010 til 2017.

Det er tydeligt, at nekroser og kloroser forekommer i sammenhæng og sandsynligvis optræder som følge af de samme påvirkninger af bladene. Der sker sandsynligvis en udvikling, der begynder som en klorose og siden bliver en nekrose. Forholdet mellem kloroser og nekroser er sandsynligvis afhængig af tidspunktet for vurderingen, således at der først på vækstsæsonen er flest kloroser og sidst på sæsonen er flest nekroser. I august ser vi omtrent lige mange kloroser og nekroser. Både for kloroser og nekroser gælder det, at det er flest på CB og færrest i FÆ.

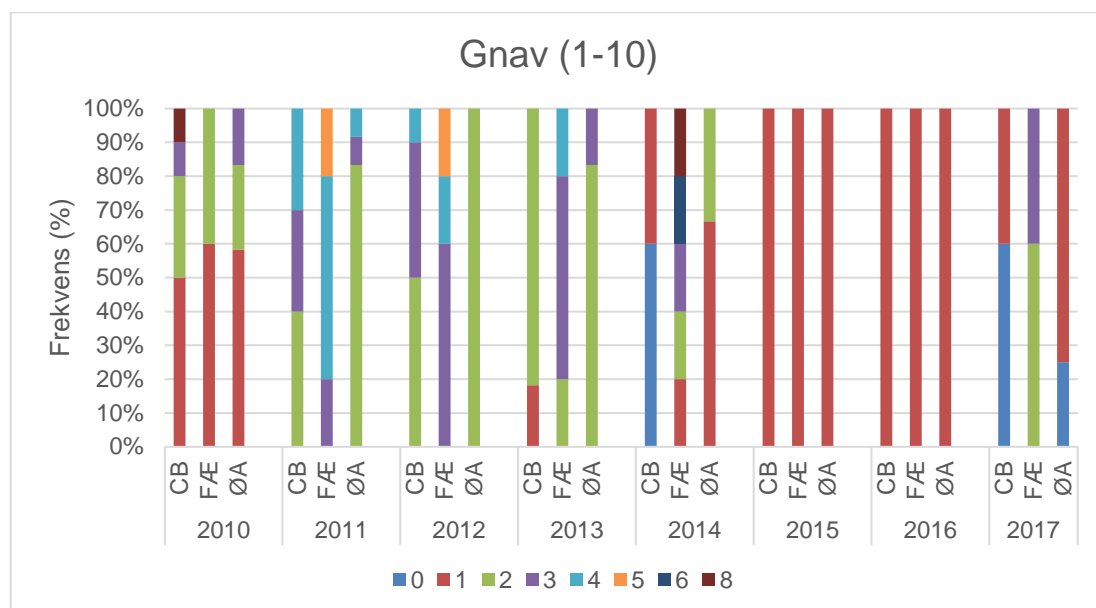
Insektgnav

Insektgnav defineres som manglende dele af bladene enten fra bladkanten eller midt på bladet, men tydeligt med gnav som årsag.

Omfanget er vurderet samtidigt med klorose og nekrose, altså én vurdering pr. træ pr. år i de otte år fra 2010 til 2017. Skalaen er, i lighed med nekrose og klorose, relativ i forhold til bedst/værst. Der gives 1, hvis der ikke ses gnav, 2 hvis der er ét til to gnav, 3 hvis der er enkelte gnav osv. Der gives 10, hvis der er gnav i samtlige blade.



Insektgnav



Figur 33: Frekvensen af scoren for "gnav" på de tre lokaliteter i årene 2010 til 2017. Der er scoret fra 0 til 8 på en skala fra 0 til 10.

Det overordnede indtryk er, at der er langt mest gnav i årene 2011 og 2012 og delvist 2013, mens der slet ikke blev registreret gnav i 2015 og 2016. Forekomsten er således ikke helt sammenfaldende med kloroser og nekroser, som var mest hyppige i 2012 og 2013 og altså ikke i 2011. Den tydelige variation mellem årene skal, i lighed med kloroser og nekroser, håndteres ved at sammenligne lokaliteterne pr. år og ikke over hele forsøgsperioden.

Tabel 26: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	A	B	B	B	C	A	A	B	B
FÆ	A	A	A	A	A	A	A	A	A
ØA	A	B	B	AB	B	A	A	B	B

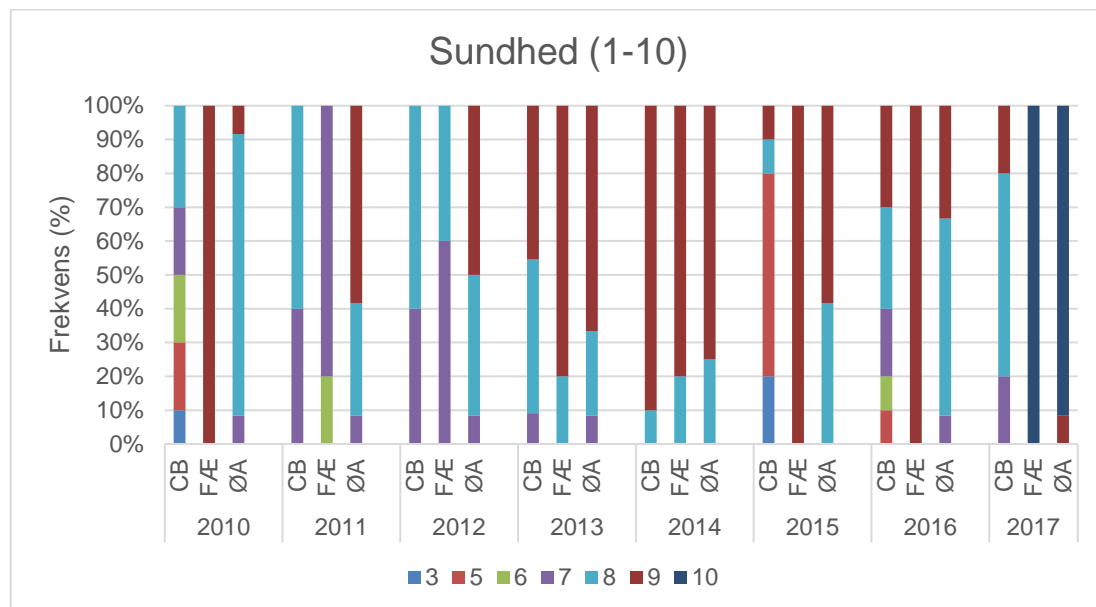
Der er signifikant forskel på lokaliteterne i 5 af de 8 år, og i alle årene er gennemsnittet højest i FÆ. I årene 2015 og 2016 er der ikke fundet gnav, og i 2010 er der ikke signifikant forskel på lokaliteterne, men gennemsnittet er højest på CB.

Der er stor variation mellem årene og flere faktorer gør sig gældende i forhold til omfanget af gnav. Der er signifikant mere gnav i FÆ end på CB og ØA. Der er ingen signifikant forskel på ØA og CB.

Der er to vigtige faktorer i forhold til omfanget af gnav. Den ene faktor er tilstedeværelsen af gnavende insekter. Det andet er træernes evne til at lave forsvarsstoffer som fx bitterstoffer i bladene. Første faktor fører til øget gnav i FÆ, hvor der i højere grad er skovmiljø og nedsat vindhastighed end på CB og ØA. Forventningen kunne så være, at der er næstmest gnav på ØA, idet træerne står nær Fælledparken, men formodentlig er det så vitalitetsfaktoren, der medfører, at CB alligevel har mere gnav end ØA. Idet træerne på ØA er mere vitale end på CB vil deres aktive forsvar mod gnavende insekter være mere effektivt, hvilket fører til, at der er tendens til, mere gnav på CB end på ØA. Denne tendens er dog ikke signifikant.

Sundhed

Sundhed scores fra 1-10 og er en samlende visuel vurdering, der bl.a. inddrager beløvningsgraden, løvfarven, grendød mv. Hver parameter er behandlet særskilt, men er her samlet til en sundhedsparameter.



Figur 34: Frekvensen af sundhedsscoren på de tre lokaliteter hvert år fra 2010 til 2017.

Tabel 27: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	C	B	B	A	A	B	B	B	B
FÆ	A	B	B	A	A	A	A	A	A
ØA	B	A	A	A	A	A	AB	A	A

Der er overordnet set signifikant dårligere sundhedsscore på CB end på ØA og FÆ, hvor sundheden nærmest er ens.

FÆ viser et andet mønster end ØA og CB, idet sundheden generelt ligger højt, højere end på ØA, men i 2012 og 2013, hvor der både er mange kloroser, nekroser og gnæv i FÆ ligger sundhedsscoren lavt. Tolkningen kunne derfor være, at træerne i FÆ generelt viser den bedste sundhed, men at sundhedsscoren ligger lavt i år med høj biologisk aktivitet f.eks. af lus og gnævende insekter. Statistisk set er der ikke forskel på ØA og FÆ, og den gennemsnitlige sundhed over årene er stort set ens. Det kunne tolkes som om, at brugen af kaliumformiat på ØA ikke nedsætter træernes sundhedsscore i forhold til de upåvirkede træer i FÆ. Når vi sammenligner CB og ØA, er der en markant og signifikant bedre sundhed på ØA end på CB, hvilket formodentlig kan tilskrives forskellen i tømderne.

Konklusioner på træer

Højde: Der er signifikant lavere årlig højdetilvækst på CB end på FÆ og ØA. Den reducerede tilvækst på CB medfører over årene, at træerne er signifikant lavere end på FÆ og ØA.

Tykkelse: Der er signifikant lavere tykkelsesvækst på CB end på FÆ og ØA. Den reducerede tilvækst på CB medfører over årene, at træerne er signifikant tyndere end på FÆ og ØA.

Grenvækst: Der er betydeligt højere grenvækst før udplantning end efter udplantning. Alle år efter udplantning var grenvæksten signifikant længere på ØA end på CB.

Kronestørrelse og -densitet: Kronevolumen er signifikant mindre på CB end på FÆ og ØA. I 3 ud af 6 år har CB en signifikant lavere densitet end ØA.

Løvfald: Den mindste reduktion af kronevolumen er sket i FÆ, og den største reduktion af densitet er sket på ØA.

Beløvning: Der ses en tendens til dårligere beløvning på alle lokaliteter i den første del af perioden i forhold til den anden del, hvilket tilskrives, at træernes påvirkes negativt af omplantningen. Samlet set er der signifikant dårligere beløvning på CB end på FÆ og ØA.

Blomstring: Det overordnede resultat er, at træerne på ØA blomstrer signifikant mere end træerne på CB og FÆ. Denne forskel er blevet tydeligere over årene fra 2010-17.

Barkskader: Det vurderes, at de få og små sår ikke har nogen nævneværdig negativ påvirkning på træernes vækst, vitalitet, øvrige scorere, eller på andre måder indvirker på undersøgelsen resultater.

Døde grene: Der er i perioden fra 2010 til 2017 signifikant flere døde grene på CB end på ØA, mens FÆ ligger intermediært. På CB er der også døde grene i den sidste del af perioden, mens der ikke er døde grene på ØA og i FÆ fra 2015 til 2017.

Kloroser: Der er totalt set signifikant forskel på antallet af kloroser på de tre lokaliteter. Der er signifikant flest kloroser på CB og signifikant færrest i FÆ. Der er stor og signifikant variation mellem årene. Der er flest kloroser i 2013, mens der er færrest i 2017. Der er ingen systematisk udvikling i antallet af kloroser.

Nekroser: Det overordnede resultat er, at der er signifikant forskel mellem de tre lokaliteter. Der er signifikant flest nekroser på CB og signifikant færrest i FÆ.

Gnav: Der er stor variation mellem årene og flere faktorer gør sig gældende i forhold til omfanget af gnav. Der er signifikant mere gnav i FÆ end på CB og ØA. Der er ingen signifikant forskel på ØA og CB.

Sundhed: Der er overordnet set signifikant dårligere sundhedsscore på CB end på ØA og FÆ, hvor sundheden nærmest er ens. Den samlede forskel mellem ØA og CB tyder på en stor effekt af saltningen. ØA har en betydelig bedre sundhed end CB. Statistisk set er der ikke forskel på ØA og FÆ og den gennemsnitlige sundhed over årene er stort set ens. Det kunne tolkes som om, at brugen af kaliumformiat på ØA ikke nedsætter træernes sundhedsscore i forhold til de upåvirkede træer i FÆ. Når vi sammenligner CB og ØA, så er der en markant og signifikant bedre sundhed på ØA end på CB, hvilket formodentlig kan tilskrives forskellen i tømidlerne.



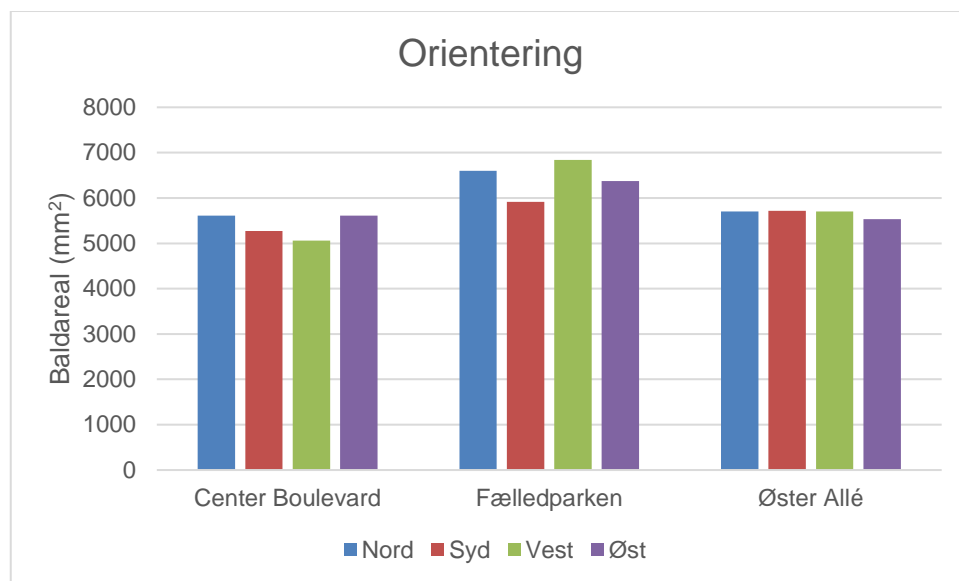
Træerne på CB.

Blade

Bladstørrelse

Bladarealet er målt ved at scanne fire blade fra hvert træ. Bladene plukkes i orienteringen N, S, Ø og V. Scanningen foretages med Epson Perfection 700 og beregningen sker med PC-programmet WinSEEDLE 2010 PRO.

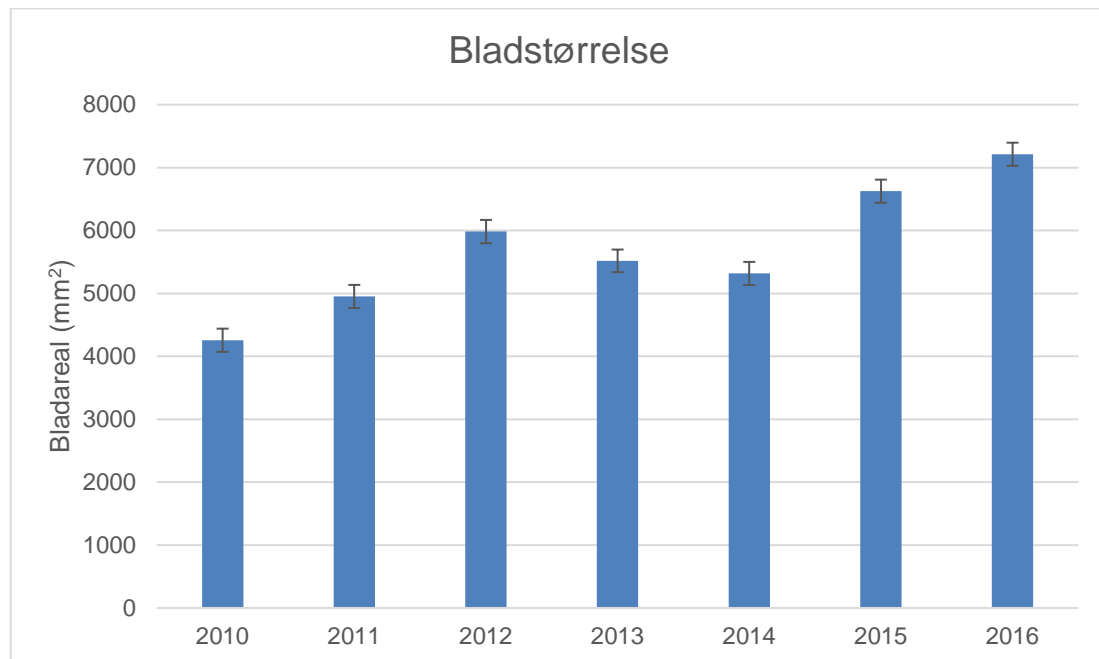
Det er nærliggende at lede efter en sammenhæng mellem bladenes orientering og størrelse.



Figur 35: Det gennemsnitlige bladareal på hver lokalitet fordelt på de fire verdenshjørner.

Der er ingen forskel i bladstørrelsen afhængigt af bladenes orientering.

En anden forventet faktor for bladstørrelsen er træernes etablering fra plantning og vejret det enkelte år.

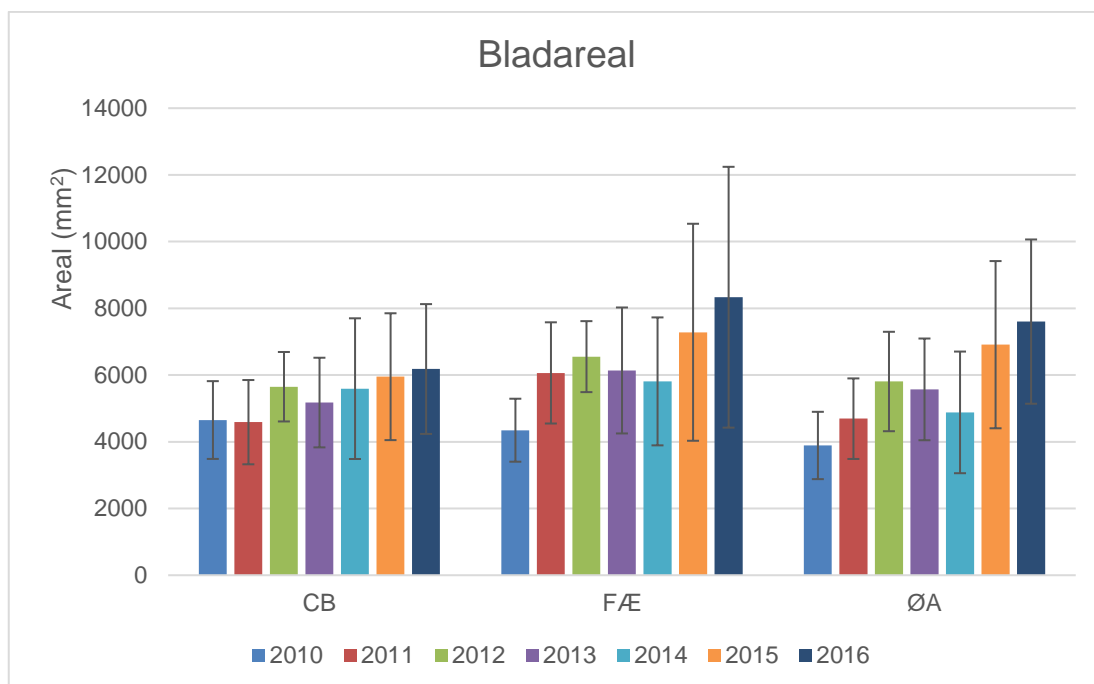


Figur 36: Det gennemsnitlige bladareal hvert år fra 2010 til 2016 uden hensyn til lokalitet eller orientering

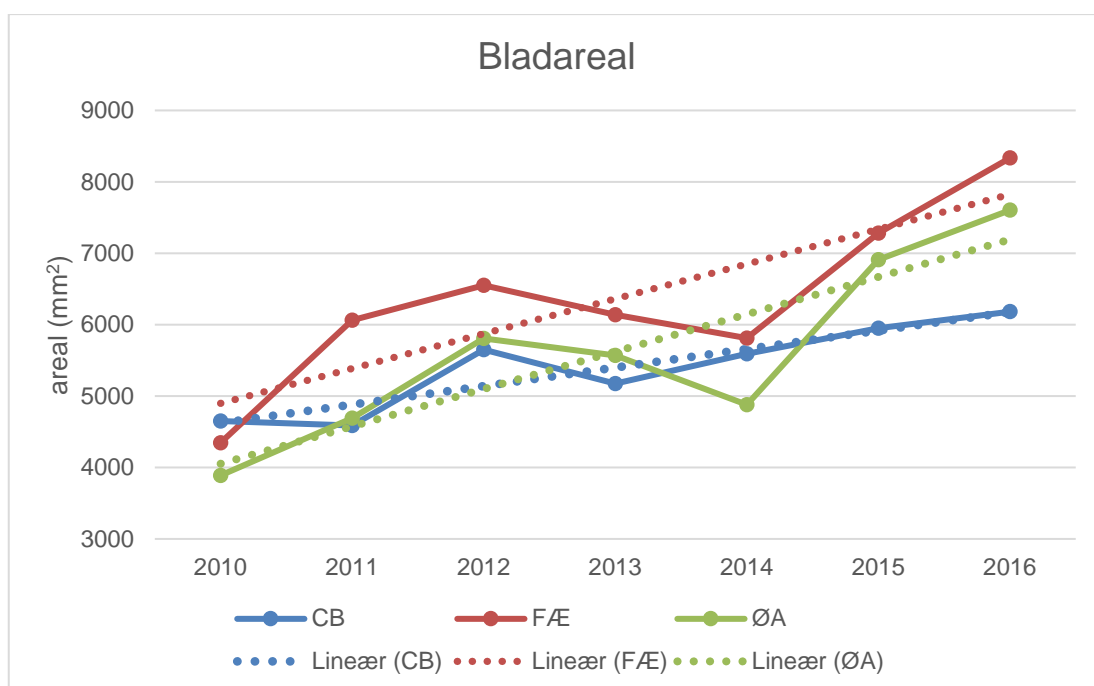
Tabel 28: Den gennemsnitlige bladstørrelse pr. år opdelt på signifikansgrupper. Samme bogstav viser en signifikant gruppering. Gruppe "A" har højeste gennemsnit, "B" har næsthøjeste osv.

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
F	E	C	CD	DE	B	A

Der er iøjnefaldende forskel på årene. Sammenlignes årene, uden at der tages hensyn til lokaliteterne, dannes der 6 signifikansgrupper på de 6 år. Den overordnede tendens er, at gennemsnittet er stigende med årene. Bladene er 70% større i 2016 end i 2010. Da alle lokaliteter indgår i dette datasæt, er udviklingen sandsynligvis en respons på træernes generelle etablering på voksestedet.



Figur 37: Gennemsnitlig bladareal på hver af de tre lokaliteter hvert år fra 2010 til 2016. Bladene er målt hvert år i august.



Figur 38: Det gennemsnitlige bladareal på hver lokalitet hvert år (hele linjer) samt en tilhørende lineær tendenslinje (stiplede linjer).

Tabel 29: Datagrundlag for ovenstående figur med det gennemsnitlige bladareal på hver lokalitet, hvert år. Enheden er kvadratmillimeter.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	4652	4588	5651	5176	5593	5951	6182
FÆ	4347	6065	6553	6138	5811	7283	8333
ØA	3889	4693	5807	5571	4881	6911	7603

På alle lokaliteter er der tendens til stigende bladstørrelse fra plantning i 2010 og til 2016. Der er desuden tendens til, at bladstørrelsen på ØA og FÆ bliver større med årene. På CB er denne udviklingen mere moderat.

Der er overraskende stor forskel på bladstørrelsen mellem lokaliteterne i 2010. Her var bladene størst på CB og mindst på ØA.

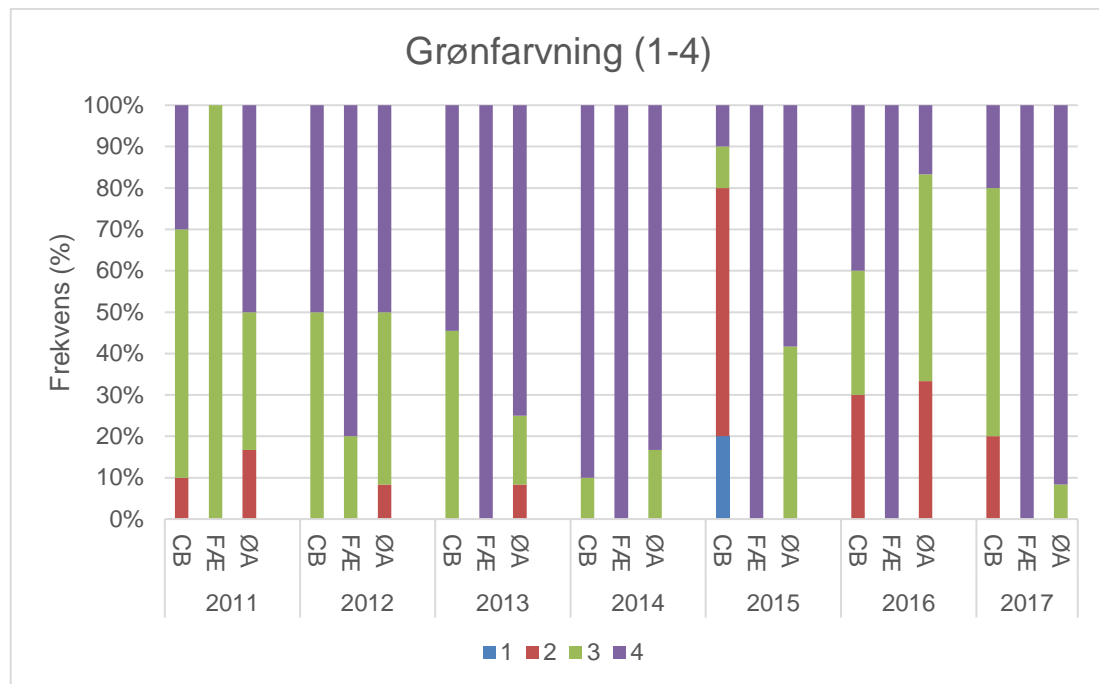
Tabel 30: Den gennemsnitlige bladstørrelse pr. år opdelt på signifikansgrupper. Samme bogstav viser en signifikant gruppering. Gruppe "A" har højeste gennemsnit, "B" har næsthøjeste osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	A	B	B	B	A	B	B	B
FÆ	AB	A	A	A	A	A	A	A
ØA	B	B	B	AB	A	AB	A	B

Der er generelt signifikant forskel på bladstørrelsen hvert år. Der er totalt set over undersøgelsen signifikant større blade på FÆ end på ØA og CB.

Grønfarvning (vurderet)

Træernes grønne farve er vurderet visuelt og beskrevet på en skala fra 1-4. Score 1 gives til det gullige træ, mens score 4 gives til det mørkegrønne træ. Træerne er vurderet i august fra 2011 til 2017.



Figur 39: Hyppigheden af grønfarve-score på de tre lokaliteter hvert år fra 2011 til 2017.

Tabel 31: Analyse af signifikansgrupper hvert år. "I alt" viser den samlede periode fra 2010 til 2017.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	I alt
CB	A	A	A	A	B	B	B	B
FÆ	A	A	A	A	A	A	A	A
ØA	A	A	A	A	A	B	A	A

Fra 2011 til 2014 er der ikke systematiske forskelle på lokaliteternes grønfarve-score. I årene 2015, 2016 og 2017 er der signifikant forskel mellem lokaliteterne og alle år er CB i gruppen med lavest score.

Når alle vurderinger medregnes, er der signifikant forskel mellem lokaliteterne. CB har signifikant lavere score, dvs. mest gullige blade i gennemsnit over årene end træerne på ØA og FÆ. Der er ikke signifikant forskel mellem lokaliteterne FÆ og ØA.

Bladfarve (målt)

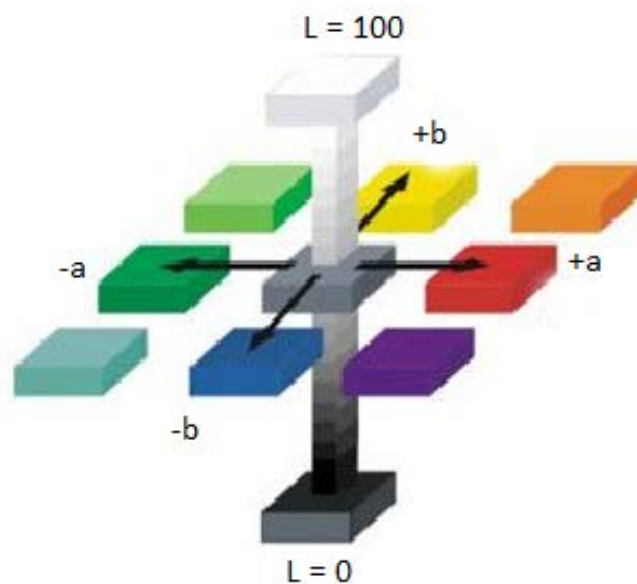
Bladfarven er målt hvert år fra 2010 til 2016 på indsamlede blade. Farven analyseres men en L, a og b-skala. L er lys/mørke-skalaen, a er rød/grøn-skalaen og b er blå/gul-skalaen.

I samme arbejdsgang og på samme blade, er der målt SPAD og fluorescens.

Bladenes farve bestemmes af de pigmenter, der deltager i fotosyntesen. Den grønne farve skyldes klorofyl. Den gule farve kommer fra caroten, mens den røde farve skyldes anthocyanin. I løbet af sommeren er den grønne farve dominerende. Hen på efteråret falder klorofylindholdet og de mere stabile carotener og anthocyaniner spiller en større rolle. Derfor ændrer bladene farve i retning af gul og rød.

Fra hvert træ er der plukket fire blade, et fra hhv. N, S, Ø og V.

Måleintensiteten er forskellig i årene fra 2010 til 2016. I 2010 blev der målt tre gange, i 2012 to gange og i alle andre år én gang.



Figur 40: Bladenes farve er målt efter Lab-skalaen, hvor en farve defineres med en L-, a- og b-værdi.

Da der indgår blade fra alle træer på alle lokaliteter fra alle fire verdenshjørner, dvs. verdenshjørnerne er ens repræsenteret, så slås resultaterne fra hvert verdenshjørne sammen i den efterfølgende behandling af resultaterne.

Tabel 32: Signifikante grupperinger for farveparametrene L, a og b mellem blade fra hhv. øst, syd, vest og nord. Alle lokaliteter indgår. Samme bogstav betyder samme statistiske gruppe, mens forskelligt bogstav viser signifikante forskelle. Gruppe "A" har højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

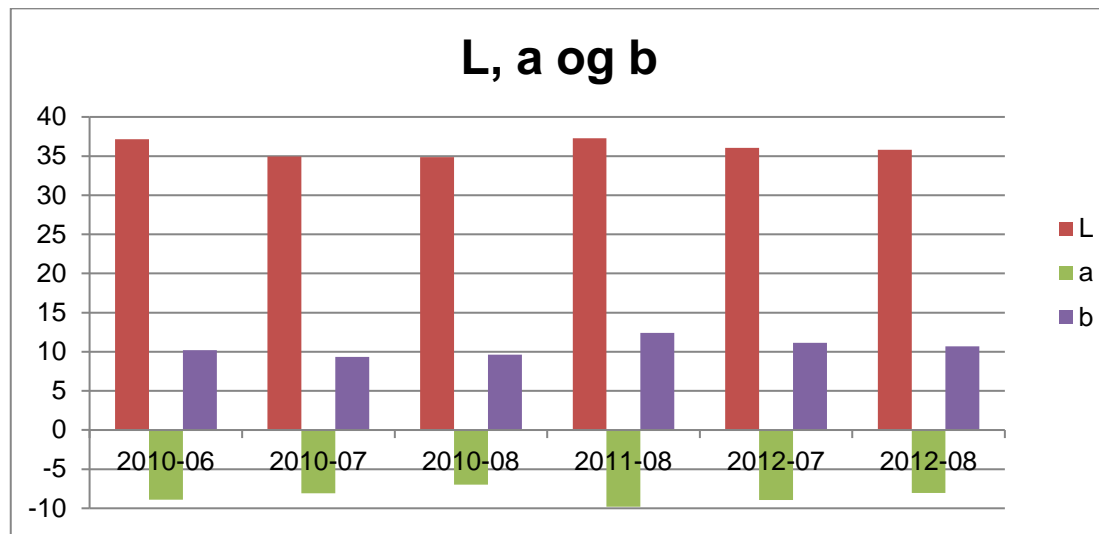
	Ø	S	V	N
L	A	A	A	A
a	A	AB	AB	B
b	A	A	A	A

Når resultaterne sammenlignes uden hensyn til lokalitet, men kun til bladenes orientering viser det sig, at der for L- og b-parameteren ikke er forskel på bladenes orientering. Kun for a-parameteren er bladene signifikant afvigende i forhold til øst. Bladene mod øst er mindre grønne end bladene mod nord.



Indsamlede blade til farve-, SPAD- og Flourescensmåling.

I den første del af undersøgelsen blev der udført forsøg med bladfarven i forskellige måneder. Den grafiske fremstilling ses nedenfor.



Figur 41: Gennemsnit af L-, a- og b-parametrene i hver målerunde i 2010-12. Alle tre lokaliteter indgår i datasættet.

Det visuelle indtryk er, at værdierne svinger lidt, men ikke markant. Statistisk set skal 2010-6, -7 og -8 sammenlignes for at vurdere muligheden for sammenslåning. For både L, a og b er der signifikant forskel mellem de tre kampagner. Der er altså ikke mulighed for sammenslåning. Målingerne i 2012-7 og -8 skal også sammenlignes. Her er det kun a-parameteren, der er signifikant forskel på. Tilsammen betyder analyserne, at hele datasættet ikke kan samles til et stort gennemsnit. Når lokaliteterne skal sammenlignes, bliver det med udgangspunkt i augustkampagnen, der er gennemført alle år og på alle lokaliteter.

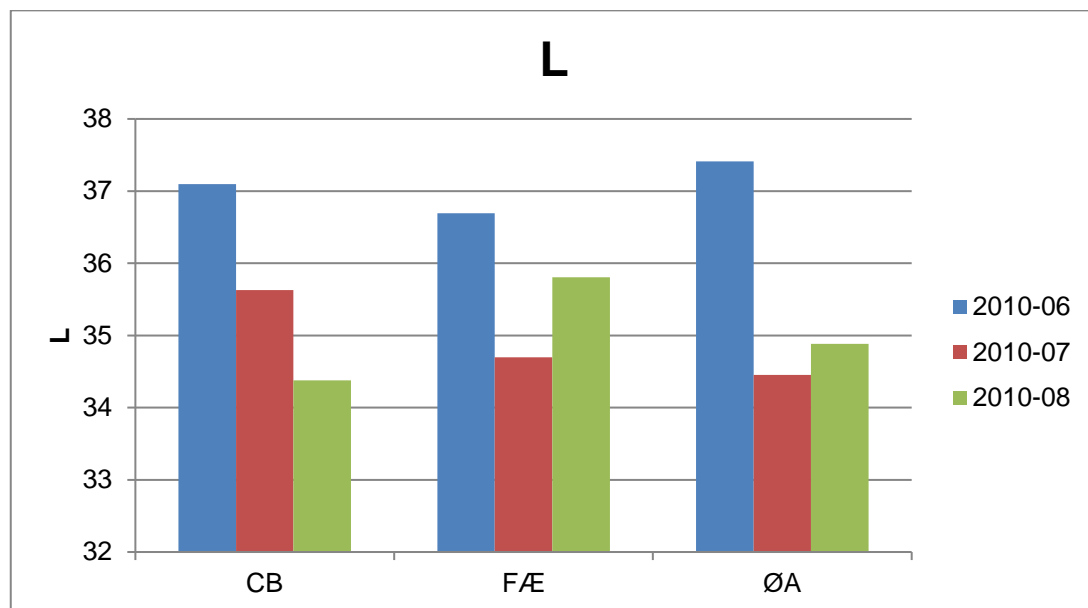
Resultaterne for de tre kampagner i 2010 giver oplysninger om udviklingen i bladfarven, i hvert fald det pågældende år.

Tabel 33: Den gennemsnitlige værdi for de tre farveparametre L, a og b. Alle lokaliteter er indregnet.

	L	a	b
Juni	37,16	-8,90	10,21
Juli	34,93	-8,10	9,33
August	34,89	-6,97	9,63

Der er signifikant forskel på månederne for alle tre parametre. I juni er bladene mørkere og med stærkere komponenter af grønne og gule nuancer. I juli er bladene lidt lysere end i juni men magen til august. I juli er den grønne farve aftaget lidt i forhold til juni, og den gullige nuance er svagere end juni og august. I august er den grønne nuance aftaget yderligere ift. juni og juli. Tendensen er altså, at bladene bliver lysere og mindre grønne fra juni til august.

Opdeles de tre kampagner i 2010 efter lokalitet fremkommer nedenstående figurer for de tre farveparametre.



Figur 42: Gennemsnittet af L-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

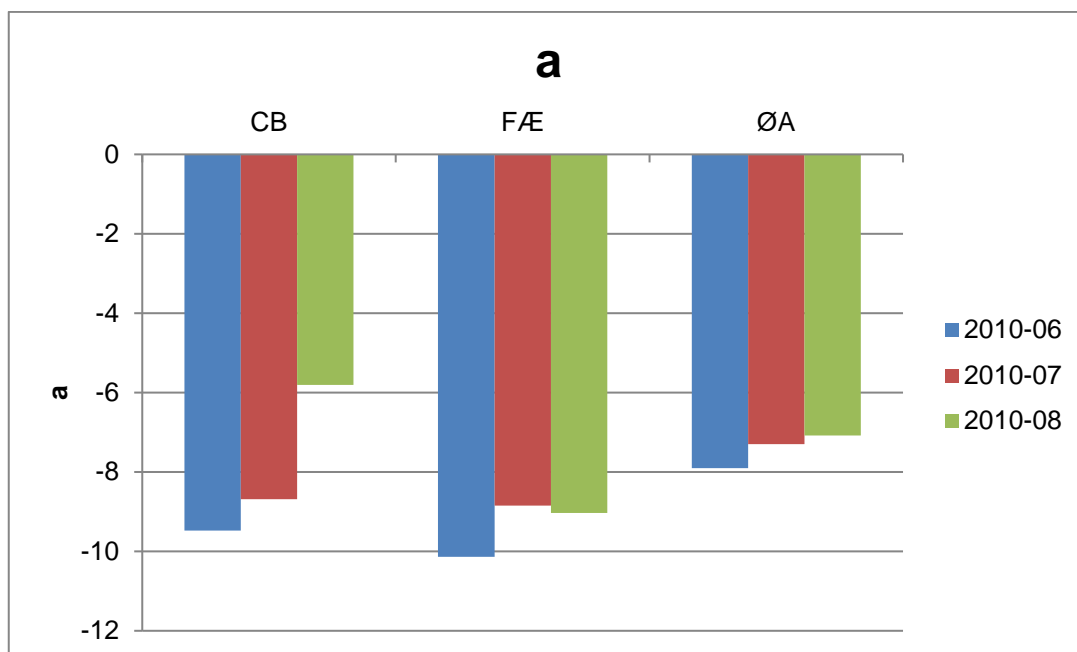
Der viser sig et generelt fald i L-værdien fra juni mod august, men ikke ens på de tre lokaliteter. På CB er faldet jævnt, mens farven i FÆ og på ØA er lysest i juli og bliver mørkere igen i august. Især i august er der forskel på de tre lokaliteter, hvor bladene på CB er mørkere end på de andre to lokaliteter.

Den statistiske sammenligning af månederne på samme lokalitet viser, om ændringerne mellem månederne er signifikante (Tabel 34).

Tabel 34: Signifikante grupperinger blandt L-resultaterne fra hver måned på samme lokalitet. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen angiver gruppering inden for samme lokalitet og kan altså ikke læses lodret mellem lokaliteterne.

	2010-06	2010-07	2010-08
CB	A	B	C
FÆ	A	B	AB
ØA	A	B	B

Ud fra ovenstående tabel kan man sige, at faldet i L-værdi på CB er signifikant fra måned til måned, og at juni er signifikant højere end juli og august på ØA. I FÆ er der signifikant forskel mellem juni og juli, mens august er intermediær. Det overordnede billede er, at bladene bliver mørkere hen over sommeren.



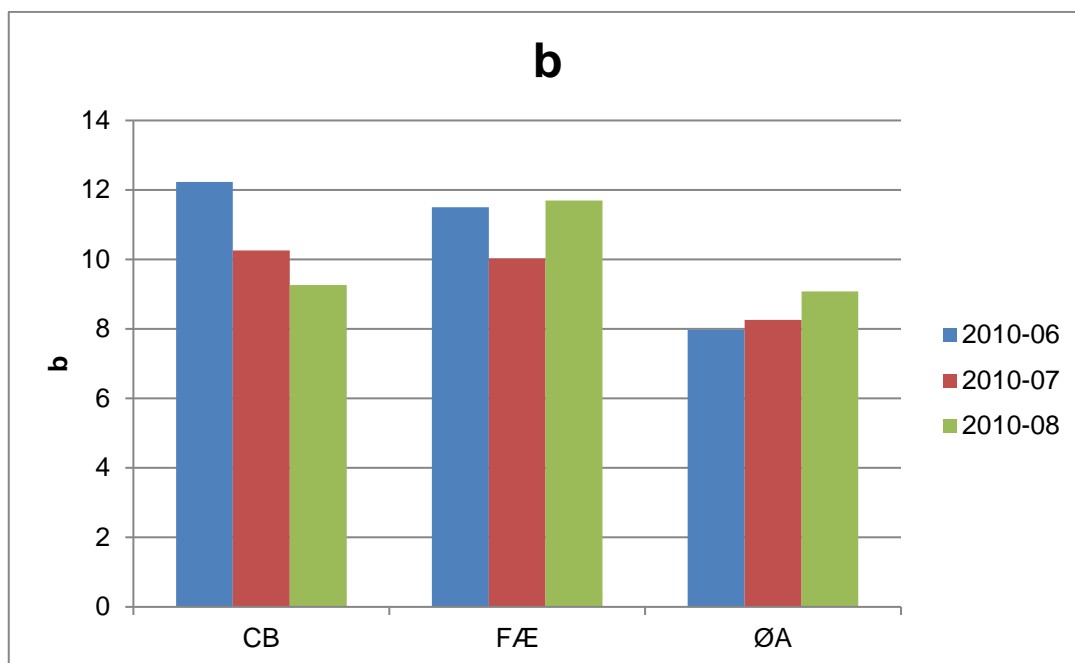
Figur 43: Gennemsnittet af a-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

A-parameteren (fra rød til grøn) viser en tendens til, at den grønne nuance aftager fra juni til august. Tendensen er kraftigst på CB, svag på ØA og ikke systematisk i FÆ, hvor bladene er omtrent lige grønne i juli og august. Generelt er bladene mest grønne i FÆ og mindst grønne på ØA.

Tabel 35: Signifikante grupperinger blandt a-resultaterne fra hver måned på samme lokalitet. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen angiver gruppering inden for samme lokalitet og kan altså ikke læses lodret mellem lokaliteterne.

	2010-06	2010-07	2010-08
CB	C	B	A
FÆ	B	A	A
ØA	B	AB	A

Man ser altså et signifikant fald i "grønhed" hver måned på CB. Faldet fra juni til juli/august er signifikant i FÆ, mens der er signifikant forskel mellem juni og august på ØA.



Figur 44: Gennemsnittet af b-parameteren på de tre lokaliteter i hhv. juni, juli og august 2010.

For b-parameteren (fra blå til gul) ses ingen systematisk tendens til udvikling fra juni til august. På CB ses et fald, i FÆ er juli mindst gul, mens der ses en marginal stigning på ØA.

Tabel 36: Signifikante grupperinger blandt b-resultaterne fra hver måned på samme lokalitet. Grupperne markeres med ens bogstav i rækkerne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv. Tabellen angiver gruppering inden for samme lokalitet og kan altså ikke læses lodret mellem lokaliteterne.

	2010-06	2010-07	2010-08
CB	A	B	B
FÆ	A	B	A
ØA	B	AB	A

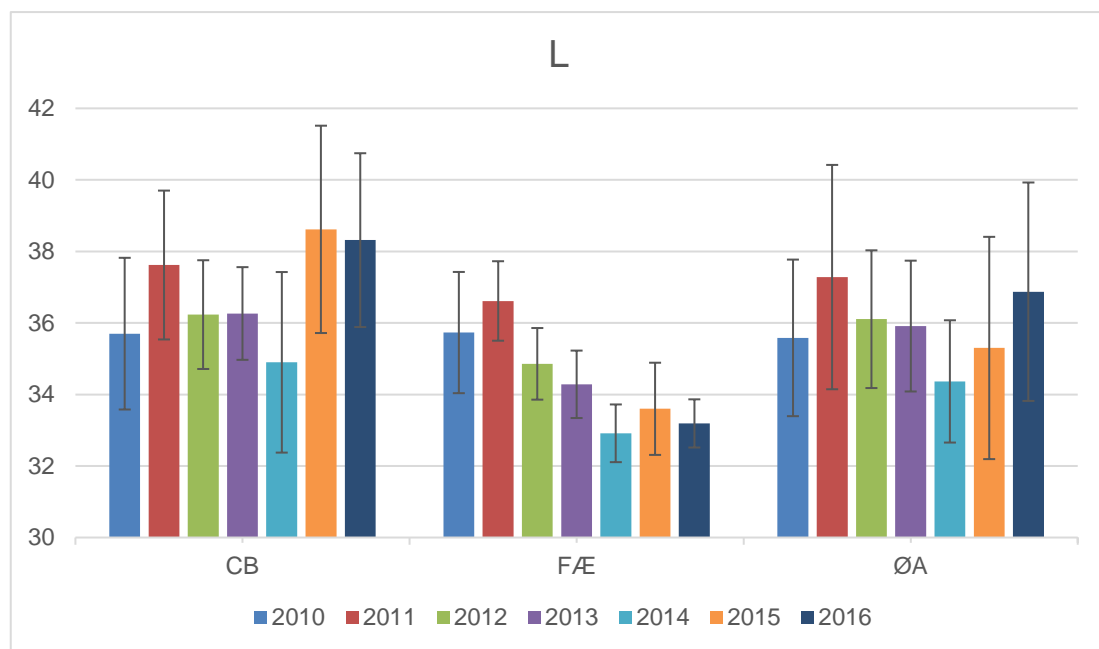
På CB er faldet i gulhed signifikant fra juni til juli/august. I FÆ er der signifikant fald fra juni til juli, men signifikant stigning igen til august. På ØA er der stigning fra juni til juli og igen til august. Altså tre forskellige forløb på de tre lokaliteter.

Når vi sammenholder de tre parametre, ses der i nogle tilfælde en sammenhæng. På CB bliver bladene lysere, mindre grønne og mindre gule fra juni til august. I FÆ er bladene også mindre grønne fra juni til juli/august. Derudover ses en anden systematik, nemlig at bladene i juni og august er mørkest og mest gule, mens juli er lysere og mindre gule. På ØA er de tre parametre ikke "i takt". Juni er langt mørkest og mest grøn, men også mindst gul, hvilket er anderledes end på de andre to lokaliteter.

Konklusionen er, at farvemålingerne er varierende uden en tydelig systematik, der er fælles for alle lokaliteter. Dette forhold er en svaghed i de nedenstående sammenligninger af bladfarven i august. Vi ved ikke om resultatet ville have været et andet, hvis farvemålingerne var foretaget en anden måned.

Sammenligning af farveparametrene L, a og b målt i august hvert år fra 2010 til 2016 fremkommer nedenstående figurer.

L er lys/mørk-parameteren, hvor 0 er sort og 100 er hvid.



Figur 45: Gennemsnittet af farveparameteren L, opgjort pr. lokalitet i august hvert år fra 2010 til 2016.

Tabel 37: Den gennemsnitlige L-værdi på hver lokalitet i årene 2010 til 2016.

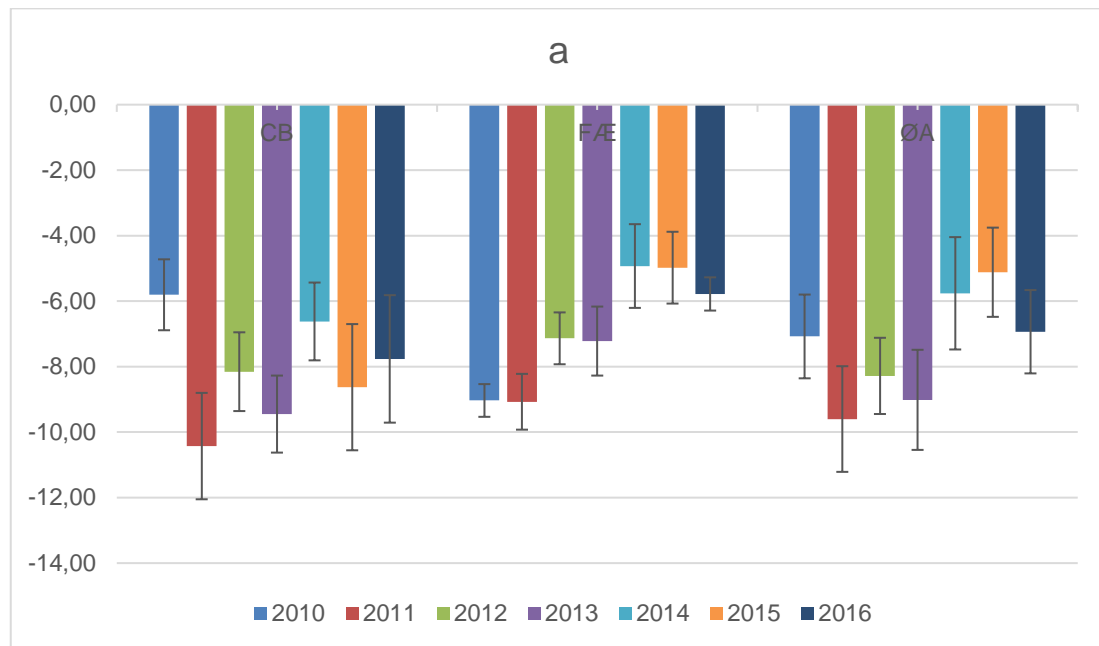
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	35,70	37,62	36,23	36,26	34,90	38,62	38,32
FÆ	35,73	36,61	34,86	34,28	32,91	33,60	33,19
ØA	35,58	37,28	36,10	35,91	34,37	35,30	36,87

Tabel 38: L-værdierne analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	B	A	AB	A	A	A	A	A
FÆ	A	A	B	B	B	C	C	C
ØA	B	A	AB	A	A	B	B	B

Der er signifikant forskel på L-værdien mellem de tre lokaliteter. Generelt over årene er bladene på CB lysest og mørkest i FÆ. På CB er udviklingstendensen, at bladene bliver lysere over årene. Den modsatte tendens ses i FÆ, hvor bladene bliver mørkere over årene, og ender med at være mørkest, når alle år indregnes. På ØA er tendensen, at bladene er omtrent lige mørke hvert år.

Farveparameteren a viser skalaen fra grøn (-a) til rød (+a). Jo mere negativ a-værdien er, jo grønnere er bladene.



Figur 46: Gennemsnittet af farveparameteren a, opgjort pr. lokalitet i august hvert år fra 2010 til 2016.

Tabel 39: Den gennemsnitlige a-værdi på hver lokalitet i årene 2010 til 2016. "Total" viser lokalitetens gennemsnit over årene.

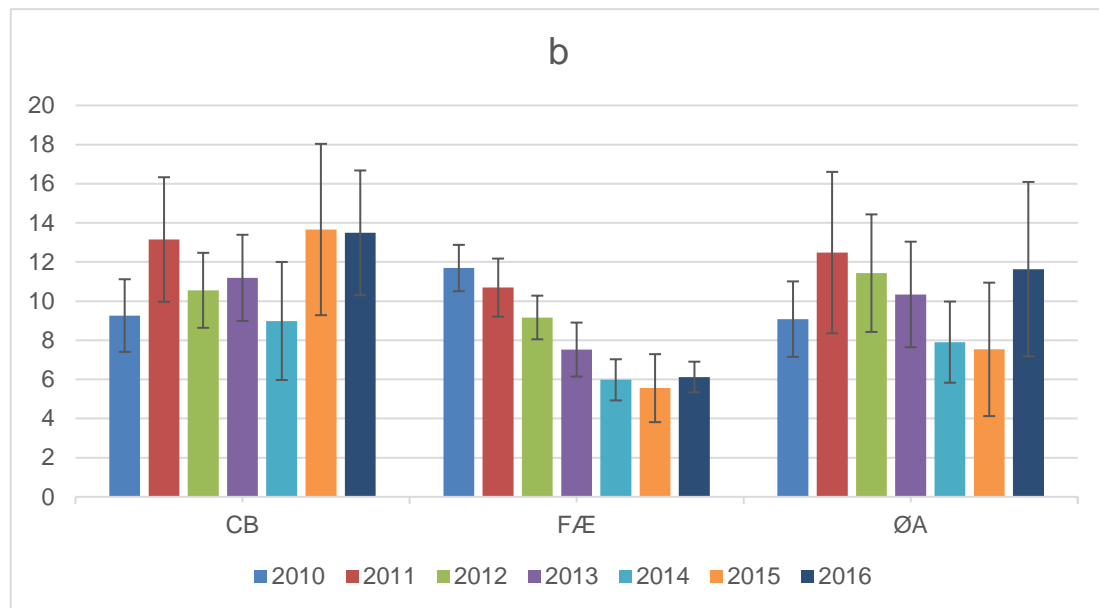
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	-5,81	-10,43	-8,15	-9,45	-6,62	-8,63	-7,76
FÆ	-9,03	-9,07	-7,14	-7,22	-4,93	-4,98	-5,78
ØA	-7,08	-9,60	-8,28	-9,01	-5,76	-5,12	-6,93

Tabel 40: a-værdierne analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	A	A	A	A	B	B	B	A
FÆ	C	C	A	A	A	A	A	A
ØA	B	B	A	A	AB	A	B	A

Parameteren a (grøn-rød) viser, at der samlet set over årene ikke er signifikant forskel på bladene a-værdi. Bladene er altså samlet set lige grønne på de tre lokaliteter.

Farveparameteren b viser skalaen fra blå (-b) til gul (+b). Jo mere positiv b-værdien er, jo gulere er bladene.



Figur 47: Gennemsnittet af farveparameteren b, opgjort pr. lokalitet i august hvert år fra 2010 til 2016.

Tabel 41: Den gennemsnitlige a-værdi på hver lokalitet i årene 2010 til 2016.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	9,26	13,15	10,55	11,19	8,99	13,66	13,49
FÆ	11,69	10,69	9,16	7,53	5,98	5,55	6,12
ØA	9,08	12,48	11,43	10,34	7,91	7,54	11,63

Tabel 42: b-værdierne analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	B	A	A	A	A	A	A	A
FÆ	A	A	B	B	A	B	B	B
ØA	B	A	A	AB	A	B	B	B

Parameteren b (blå-gul) viser, at bladene på CB fra 2013 og frem har den højeste gennemsnitlige b-værdi, hvilket svarer til de guleste blade. Kun i 2010 er CB ikke i den statistiske gruppe med de guleste blade.

Samlet set over årene, så er bladene på CB signifikant gulere end på FÆ og ØA.

Det samlede resultat over årene er, at bladene på CB signifikant lysere og gulere end FÆ og ØA.



Indsamling af blade.

Klorofylkoncentration

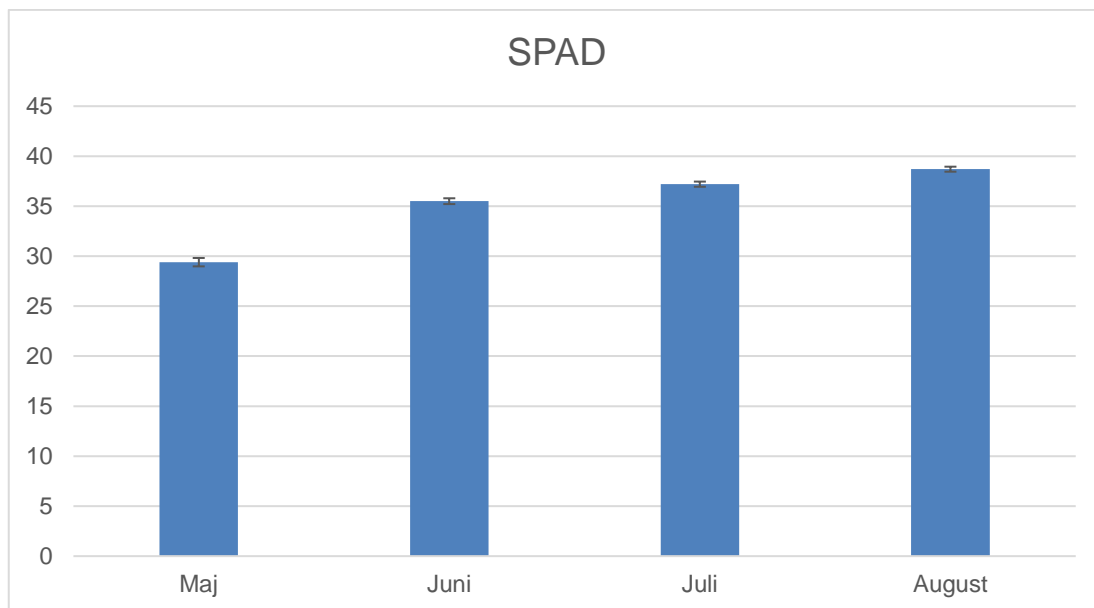
Klorofylkoncentrationen er målt efter SPAD-metoden, der er et relativt mål for bladenes klorofylindhold. Metoden bygger på klorofylets evne til at absorbere lys med bølglængde på 650 nm. For hver træart kan der ved hjælp af klorofylekstraktioner laves en korrelation mellem målte klorofylmængder og SPAD-resultatet. I denne sammenhæng bruges SPAD-resultatet som et relativt udtryk for klorofylkoncentrationen i bladene.

I årene 2010 og 2011 er der målt SPAD i maj (108 målinger), juni (216 målinger), juli (284 målinger) og august (304 målinger) fordelt på de på tre lokaliteter, med i alt 320 målinger på CB, 160 i FÆ og 432 på ØA.

I årene fra 2012 til 2016 er der målt SPAD i august.

Tabel 43: Oversigt over antallet af SPAD-målinger pr. år og pr. måned på de tre lokaliteter. Bemærk, at nederste felt viser antallet af årlige målinger hvert år fra 2013 til 2016 i 8. måned.

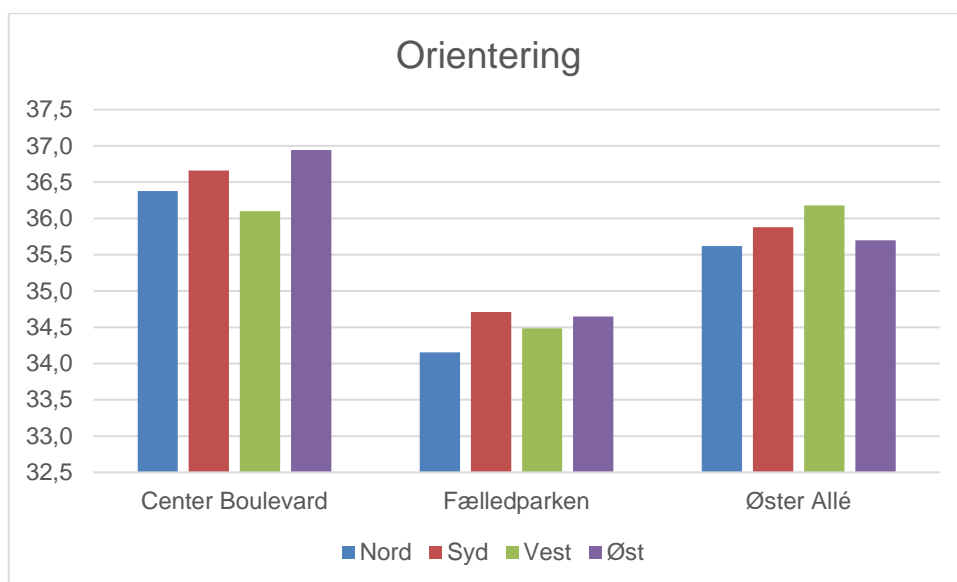
År/mdr.	CB	FÆ	ØA
2010	Antal målinger		
6	40	20	48
7	40	20	48
8	40	20	48
2011			
5	40	20	48
6	40	20	48
7	-	20	48
8	40	-	48
2012			
7	40	20	48
8	40	20	48
2013-2016			
8	44	20	48



Figur 48: Det gennemsnitlige SPAD-resultat i hhv. maj, juni, juli og august på de tre lokaliteter i 2010 og 2011. Der er signifikant forskel på alle måneder.

Der ses en tydelig og signifikant stigning mellem hver måned fra maj til august. I de følgende analyser sammenlignes målingerne i august hvert år.

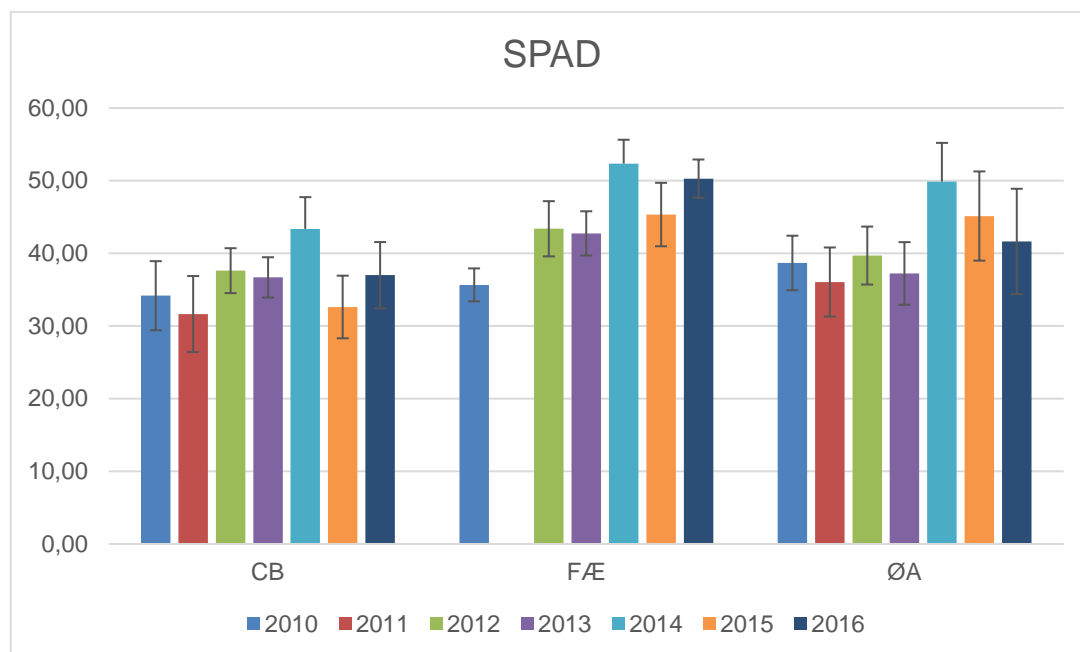
Alle målingerne er foretaget på hvert træ ved at måle på et blad mod hhv. nord, syd, øst og vest.



Figur 49: Den gennemsnitlige SPAD-måling på de tre lokaliteter opdelt på bladenes orientering i forhold til verdenshjørnerne.

En test af data opdelt på verdenshjørnerne viser, at der ikke er statistisk forskel eller tendens til systematisk forskel på SPAD-resultaterne mellem de fire verdenshjørner.

Til sammenligning mellem de tre lokaliteter indgår målinger fra august og blade fra alle verdenshjørner.



Figur 50: Det gennemsnitlige SPAD-resultat i august på de tre lokaliteter hver år fra 2010 til 2016, dog undtaget FÆ 2011, som var fejlbehæftede målinger.

Tabel 44: Det gennemsnitlige SPAD-resultat for hver lokalitet i årene fra 2010 til 2016, undtaget FÆ i 2011, hvor målingen var fejlbehæftet.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	34,17	31,65	37,62	36,69	43,37	32,62	36,99
FÆ	35,66	-	43,38	42,75	52,36	45,34	50,29
ØA	38,68	36,06	39,69	37,23	49,88	45,14	41,64

Tabel 45: SPAD-værdierne analyseret for signifikante grupper hvert år. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	B	A	C	B	B	B	C	B
FÆ	B	-	A	A	A	A	A	A
ØA	A	A	B	B	A	A	B	A

Konklusionerne er, at SPAD-tallet og dermed klorofylindholdet stiger signifikant fra maj til august, og at der samlet set er signifikant lavere klorofylindhold på CB end på ØA og FÆ, som ikke er signifikant forskellige.



Blade scannes og analyseres.

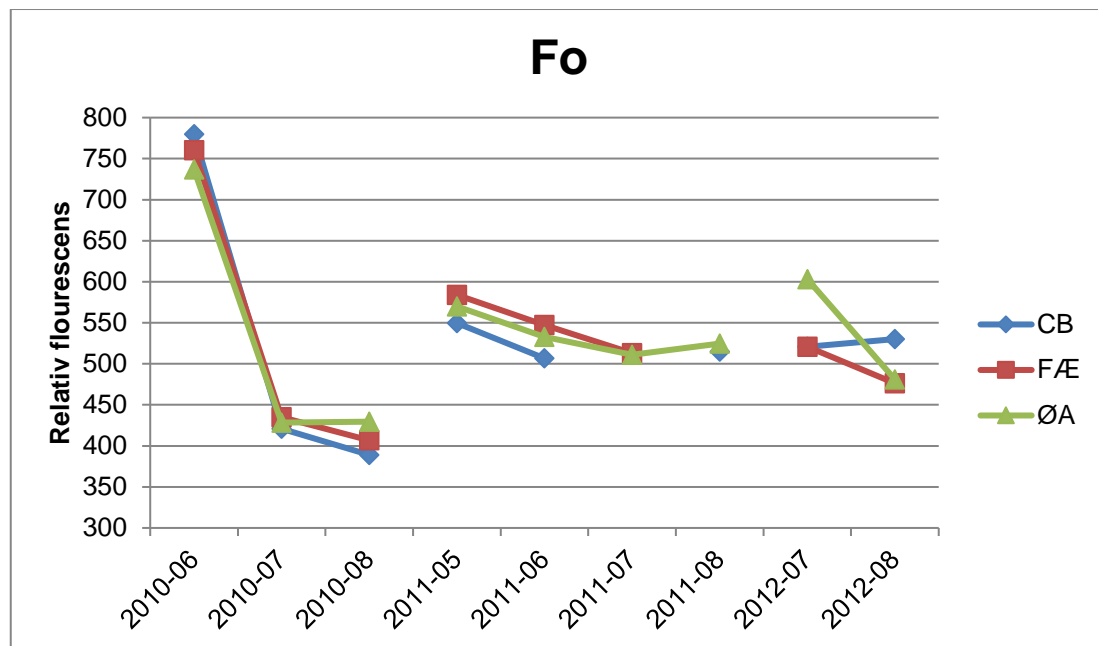
Fluorescens

Fluorescens er en måling af forholdet mellem tilført lys og emitteret lys fra bladene. Når lys med en egnet bølgelængde rammer et blad, bliver energien absorberet af pigmenterne i kloroplasterne. Energien videregives fra pigment til pigment og ender i acceptormolekylet klorofyl a. Energien bruges til at drive fotosynteseprocesserne i fotosystem I og II. En del af det absorberede lys frigives igen fra fotosystem II som lys og varme. Lyset måles og kaldes "fluorescens".

Fluorescens måles under forskellige forhold:

- F_o måles på et mørketilpasset blad, der belyses. I det mørketilpassede blad er alle fotoreceptorer "ledige" og klar til fotoenergi. Derved er absorptionen maksimal og fluorescensen minimal. Hvis F_o er høj, tyder det på et dårligt fungerende fotosyntese-system.
- F_m måles under de modsatte forhold, nemlig i et lysmættet blad med "optagede" fotoreceptorer i fotosystem II. Når bladet eksponeres for yderligere lys, bliver absorptionen minimal, mens fluorescensen bliver maksimal. En høj F_m tyder på et velfungerende fotosyntesystem.
- F_v er differencen mellem F_o og F_m og indgår i den mest benyttede beskrivelse af bladenes stressniveau, nemlig brøken F_v/F_m . Jo mere stresset et blad er, des færre reaktionscentre er klar til at absorbere lyset og sende energien videre i fotosynteseprocessen. I et stresset blad er der ikke stor forskel på F_o og F_m , og F_v bliver lille. Når F_v sættes i relation til F_m i brøken F_v/F_m , udtrykkes bladets stress eller funktionsdygtighed. De fleste blade har en optimal F_v/F_m på mindst 0,8.

Resultaterne for hhv. Fo, Fm og Fv/Fm som det er målt i 2010-2012:



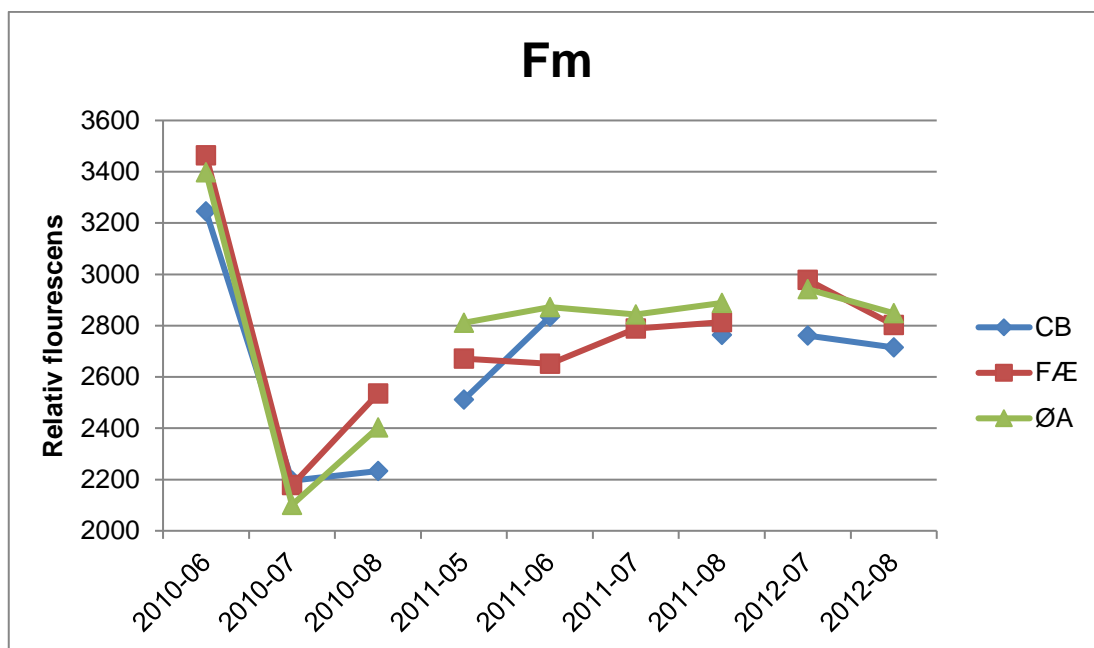
Figur 51: Gennemsnit af Fo på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

Resultatspændet går fra ca. 400 til ca. 750 og viser en tendens til fald hvert år fra maj/juni til august. En lav Fo indikerer et velfungerende fotosynteseapparat. Det fremgår, at træerne er stærkt stressede i juni 2010 lige efter plantning. Det kan undre, at niveauet for Fo allerede i juli og august 2010 er relativt lavt.

Tabel 46: Gennemsnit af Fo pr. måned opdelt på signifikansgrupper. Samme bogstav viser en signifikant gruppering. Gruppe "A" har højeste gennemsnit, "B" har næsthøjeste osv.

År	2010			2011				2012	
Måned	6	7	8	5	6	7	8	7	8
Fo	A	F	G	B	C	D	CD	B	E

Sammenlignes resultaterne månederne imellem uden hensyn til lokaliteten, så er der signifikant forskel på månederne.



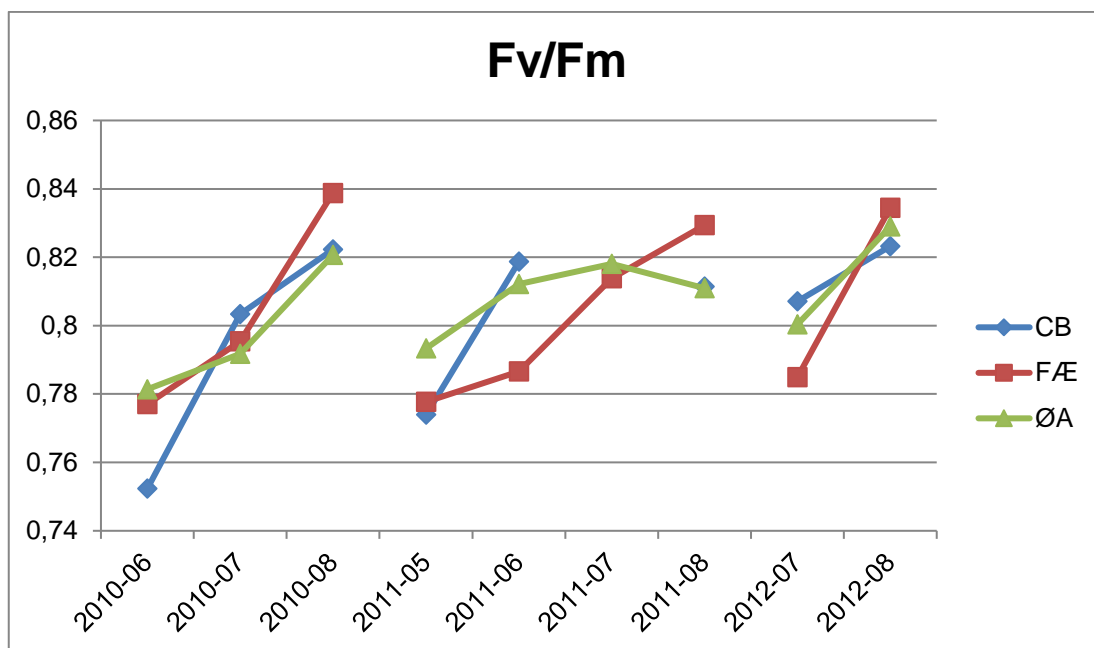
Figur 52: Gennemsnit af Fm på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

Skalaen går fra ca. 2000 til ca. 3400. En høj Fm indikerer et velfungerende fotosynteseapparat.

Tabel 47: Gennemsnit af Fm pr. måned opdelt på signifikansgrupper. Samme bogstav viser en signifikant gruppering. Gruppe "A" har højeste gennemsnit, "B" har næsthøjeste osv.

År	2010			2011				2012	
Måned	6	7	8	5	6	7	8	7	8
Fm	A	E	D	C	B	BC	B	B	B

Sammenlignes resultaterne månederne imellem uden hensyn til lokaliteten, så er der signifikant forskel på månederne.



Figur 53: Gennemsnit af Fv/Fm på hver lokalitet, vist for de enkelte måneder.

Der sker en helt tydelig stigning i Fv/Fm fra maj til august, hvilket tolkes som en forbedret effektivitet hen over sommeren.

Tabel 48: Gennemsnit af Fv/Fm pr. måned opdelt på signifikansgrupper. Samme bogstav viser en signifikant gruppering. Gruppe "A" har højeste gennemsnit, "B" har næsthøjeste osv.

År	2010			2011				2012	
Måned	6	7	8	5	6	7	8	7	8
Fv/Fm	F	D	AB	E	C	ABC	BC	D	A

Sammenlignes resultaterne månederne imellem uden hensyn til lokaliteten, så er der signifikant forskel på månederne.

Det er således vist, at Fo, Fm og Fv/Fm har signifikant variation inden for månederne maj, juni, juli og august. Det er generelt accepteret, at bladfunktionsmålinger skal udføres på et modent blad uden forfald, hvilket i Danmark tolkes som august-blade. I det følgende sammenlignes resultaterne af målinger foretaget i august.

Betydningen af bladenes orientering for flourescensen belyses i de nedenstående tabeller.

Tabel 49: Gennemsnittet af hhv. F_o , F_m og F_v/F_m over alle lokaliteter i august i årene 2010 til 2016.

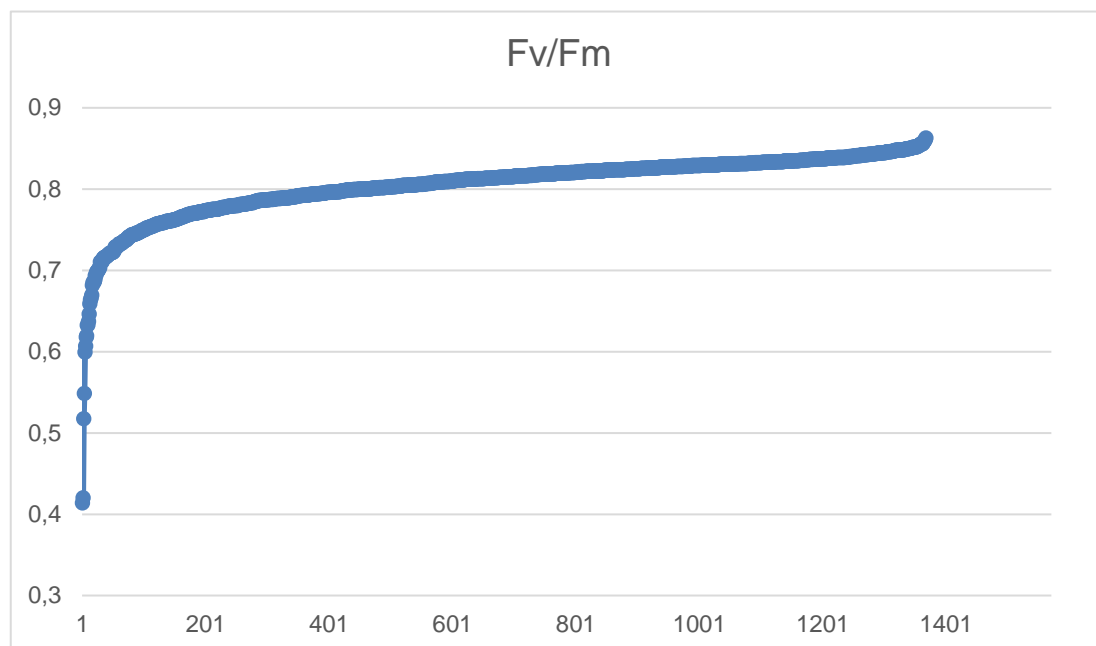
	F_o	F_m	F_v/F_m
Nord	477,39	2661,06	0,82
Øst	477,25	2552,72	0,81
Syd	476,21	2588,38	0,81
Vest	482,73	2646,74	0,81

Tabel 50: Den statistiske gruppering af ovenstående data. Tabellen læses lodret for hver parameter ses grupperinger blandt nord, øst, syd og vest. Bogstaverne viser de signifikante grupperinger. Gruppe "A" har højeste værdi, Gruppe "B" næsthøjeste osv.

	F_o	F_m	F_v/F_m
Nord	A	A	A
Øst	A	C	B
Syd	A	BC	AB
Vest	A	AB	AB

Det ses, at F_o resultaterne er uafhængige af bladenes orientering, mens F_m og F_v/F_m afhænger af orienteringen. Både F_m og F_v/F_m er højest på blade mod nord og mindst på blade mod øst.

I det følgende indgår blade, plukket i august fra alle fire verdenshjørner for hvert træ i alle målekampagner.



Figur 54: Konturen af de 1369 værdier for F_v/F_m .

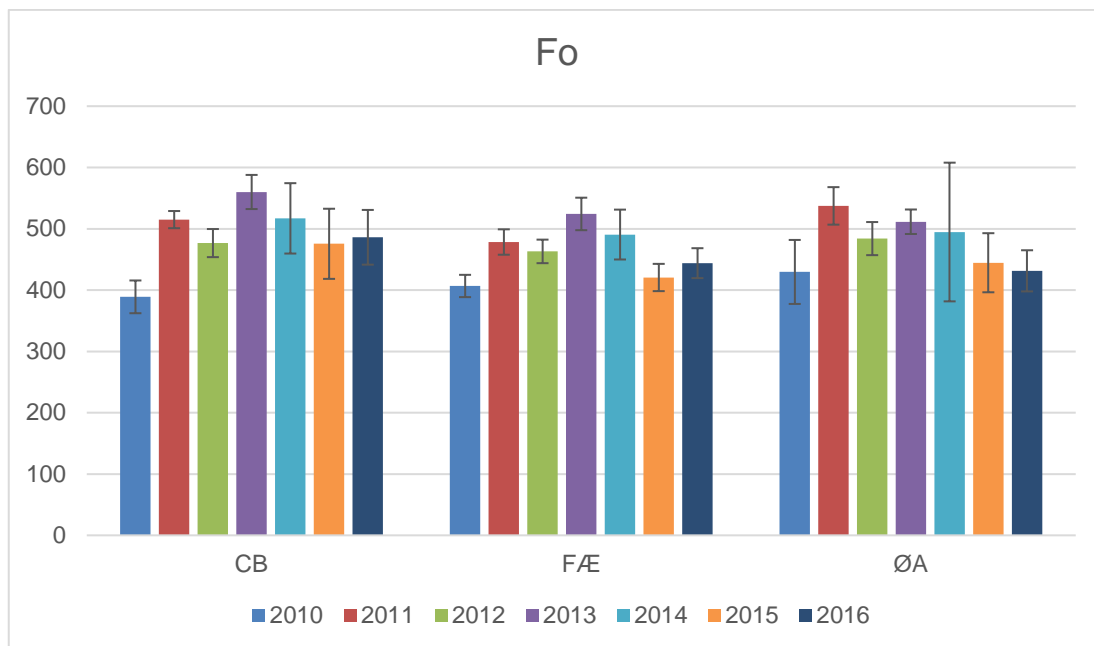
Tabel 51: Lokalitetersnes fordeling hhv. over og under Fv/Fm 0,8. "Antal" er antallet af fluorescensmålinger i alt på lokaliteten.

	Antal	<0,8
CB	484	38%
FÆ	260	30%
ØA	624	30%

Det fremgår af ovenstående figur og tabel, at træerne både har blade over og under "normal-niveauet" på 0,8. Det gælder for FÆ og ØA, at 30% af de målte blade ligger under 0,8, mens tallet er 38% for CB.



Indsamling af blade



Figur 55: Den gennemsnitlige Fo i august hvert år fra 2010 til 2016 på de tre lokaliteter.

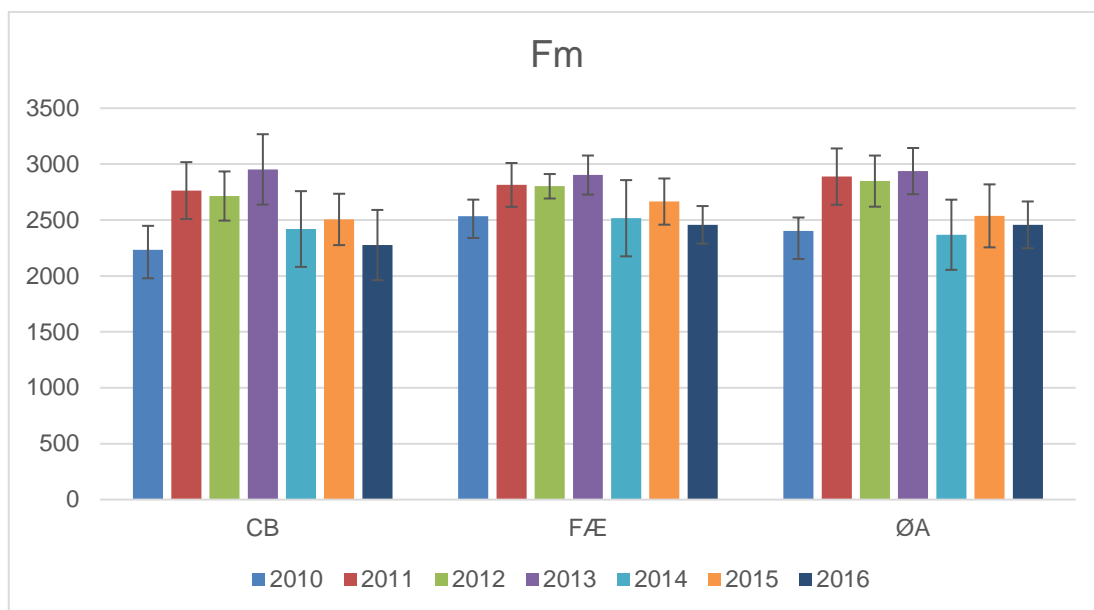
Tabel 52: Datagrundlaget for ovenstående figur.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	389,03	514,99	476,71	560,06	517,04	475,54	486,15
FÆ	406,75	478,45	463,15	524,25	490,63	420,58	443,95
ØA	429,66	537,38	484,03	511,52	494,77	444,66	431,45

Tabel 53: Lokaliteterne opdelt i signifikans-grupper hver år fra 2010 til 2016. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	B	B	A	A	A	A	A	A
FÆ	AB	C	A	B	AB	C	B	C
ØA	A	A	A	B	B	B	B	B

Der signifikant forskel mellem lokaliteterne i alle årene undtagen 2012. I de første tre år er ØA med i A-gruppen, mens CB er i A-gruppen fra 2012 og frem, mens ØA i denne periode er i B-gruppen. Der tegner sig således et billede af, at bladene på CB i stigende grad har højere Fo, altså dårligere fotosyntesefunktion end på ØA. Samlet set over årene er der signifikant højere Fo (dårligere fotosyntese) på CB end på ØA, som igen er signifikant højere end i FÆ.



Figur 56: Den gennemsnitlige Fm i august hvert år fra 2010 til 2016 på de tre lokaliteter.

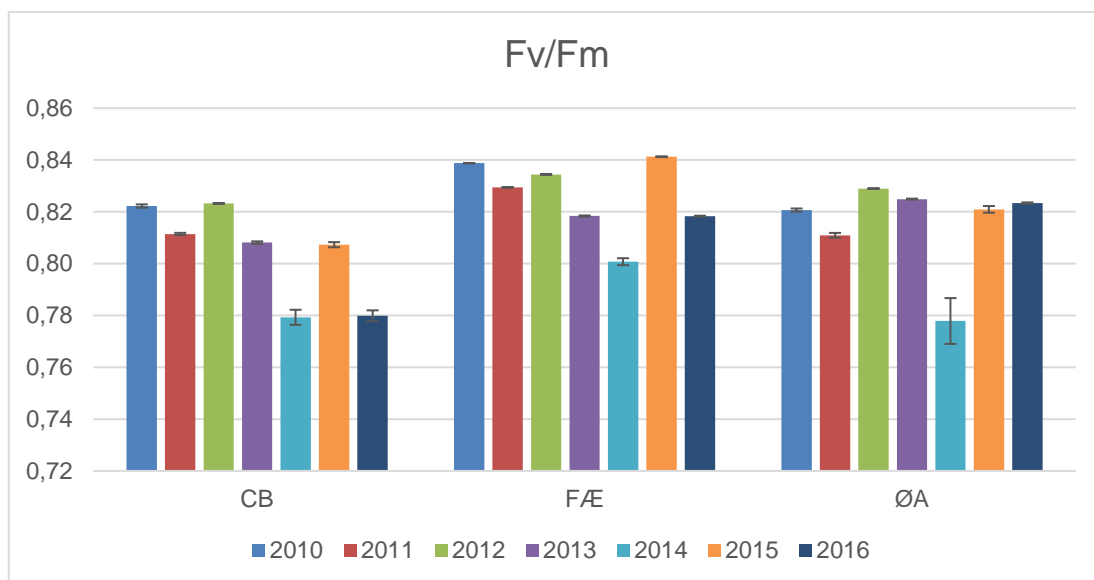
Tabel 54: Datagrundlaget for ovenstående figur.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	2233,56	2763,15	2714,59	2952,72	2419,45	2505,25	2276,30
FÆ	2535,45	2813,73	2801,78	2901,98	2516,05	2664,83	2456,90
ØA	2403,29	2888,28	2847,91	2937,36	2368,16	2537,11	2456,75

Tabel 55: Lokaliteterne opdelt i signifikans-grupper hver år fra 2010 til 2016. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	C	B	B	A	A	B	B	B
FÆ	A	AB	AB	A	A	A	AB	A
ØA	B	A	A	B	A	AB	A	A

I fem af de syv år er CB i laveste gruppe. Det samlede resultat er, at CB har signifikant lavere Fm end FÆ og ØA. En lav Fm viser et dårligt fungerende fotosyntesesystem.



Figur 57: Den gennemsnitlige Fm i august hvert år fra 2010 til 2016 på de tre lokaliteter.

Tabel 56: Datagrundlaget for ovenstående figur.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
CB	0,82	0,81	0,82	0,81	0,78	0,81	0,78
FÆ	0,84	0,83	0,83	0,82	0,80	0,84	0,82
ØA	0,82	0,81	0,83	0,82	0,78	0,82	0,82

Tabel 57: Lokaliteterne opdelt i signifikans-grupper hver år fra 2010 til 2016. Ens bogstav i samme år betyder samme signifikans-gruppe, mens forskellige bogstaver i samme år betyder signifikant forskel mellem lokaliteterne. Gruppe "A" har et højere gennemsnit end gruppe "B" osv.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	I alt
CB	B	B	A	B	A	C	B	C
FÆ	A	A	A	AB	A	A	A	A
ØA	B	B	A	A	A	B	A	B

I 2012 og 2014 er der ikke signifikant forskel på lokaliteterne. Alle andre år er CB i den laveste gruppe, enten helt (2013, 2015 og 2016) eller sammen med ØA (2010 og 2011). Et lavt Fv/Fm-tal viser dårlig fotosyntesefunktion.

Samlet set har bladene på CB et signifikant lavere Fv/Fm-niveau end på ØA, som igen har et signifikant lavere niveau end FÆ.

For Fo ses en tydelig og signifikant forskel på Fo på de tre lokaliteter. CB har den største værdi og FÆ har den laveste. En høj Fo indikerer et dårligere fungerende fotosyntesystem.

For Fm viser det sig, at niveauet på FÆ og ØA er statistisk ens, med et lidt højere gennemsnit på FÆ end på ØA. Niveauet på CB er signifikant lavere. Jo højere Fm, jo bedre fotosyntesystem.

For Fv/Fm er der signifikant forskel mellem de tre lokaliteter. Gennemsnittet er højest på FÆ og lavest på CB. En høj værdi viser et vitalt og effektivt blad, mens en lav værdi viser et blad med en dårligere fotosyntese funktion, hvilket netop gælder for gennemsnittet for CB.

Den generelt accepterede grænse for normal fotosyntesefunktion ligger ved et Fv/Fm-niveau på 0,8. Tallet er ikke entydigt og varierer lidt mellem arter og sorter. Hvis vi vælger 0,8 som pejlemærke, betyder det, at ca. 33 % (447 målinger) af Fv/Fm-resultaterne ligger under det ønskede niveau.

Den samlede konklusion af fluorescensmålingerne er, at CB overordnet klarer sig signifikant dårligere på de tre parametre Fo, Fm og Fv/Fm. Sammenlignes lokaliteterne over årene, så bemærkes det, at 2010 og 2011 viser afvigende resultater i forhold til resten af forsøgsperioden. Disse første år efter plantning, er træerne sandsynligvis påvirket af omplantningen, mens træernes miljø herunder påvirkning af tømidler, først viser sig efter et par år.

Bladkemi

Udtagning og analyse af bladprøver

Alle bladprøver er udtaget i august måned. År 2009 på Kortegaards Planteskole og 2010-2016 på CB, i FÆ og på ØA.

Bladprøverne blev tørret ved 55 °C og vejet enkeltvis. Bladene fra det samme træ blev findelt i en kværn og blandet grundigt, inden en delprøve blev udtaget og nedbrudt i koncentreret HNO₃ i mikrobølgeovn. De nedbrudte prøver blev analyseret for koncentrationen af P, K, C, Mg, Fe, Mn, Na, Zn og S ved ICP-OES (Perkin Elmer Optima 2000). En ny delprøve af den kværnede delprøve blev udtaget, og koncentrationen af totalindholdet af C og N blev målt med en Skalar-CN-analysator (C / N analysator, SNCPrimacs). Hovedresultaterne af analyserne fremgår af figur 69 og 70.

Bladvægten

Der er ikke fundet statistisk signifikant forskel på bladvægten mellem de forskellige lokaliteter i nogen af årene. I 2012 er der tendens til, at bladvægten for CB (0,45 g/blad) er mindre end bladvægten på de andre to lokaliteter (både ØA og FÆ har en bladvægt på ca. 0,50 g/blad).

Næringsstofferne, Na og Cl

For de fleste stoffer er der en signifikant variation i koncentrationerne mellem årene (statistikken er ikke angivet her).

For P, K og Ca gælder det, at koncentrationen falder fra 2009 til 2010, hvorefter den stiger. K-koncentrationen og Ca-koncentrationen når således i 2010 ned i det område som diagnostisk set betegnes ”lavt”. Dette kunne hænge sammen med, at træet optager mindre af disse stoffer umiddelbart efter udplantning, men efterfølgende får de et mere udviklet rodnet, der er i stand til at optage disse stoffer.

For N er koncentrationen markant lavere i 2011 sammenlignet med de øvrige år. Årsagen til dette er ukendt, og de øvrige næringsstoffer følger ikke denne trend, om dette kan skyldes en N-allokering, som en forsinket eftervirkning af udplantningen vides ikke. For N er det bemærkelsesværdigt, at koncentrationerne er signifikant lavere på CB end i FÆ i alle årene efter 2010, og signifikant lavere end på ØA i 2012, 2014 – 2016. Det ser således ud til at anvendelsen af salt hæmmer optaget af N, mens optaget af N ser ud til at være upåvirket af anvendelsen af kaliumformiat. Dette kan også ses af resultaterne fra FÆ i årene efter 2014, hvor træerne i FÆ fik en stor dosis kaliumformiat. På alle lokaliteterne kan N-koncentrationerne diagnosticeres som ”tilstrækkelige”.

For P er der i nogen år signifikante forskelle på P-koncentrationen i bladene imellem lokaliteterne, men det er svært at se et generelt mønster der kan tilskrives forskelle i anvendelsen af tømidler, og i 2016 er der ingen signifikante forskelle mellem lokaliteterne. Forskellene i P-koncentrationen imellem lokaliteterne i 4 ud af de 7 undersøgte år tilskrives derfor tilfældigheder, der ikke har sammenhæng med forskellen i anvendelse af tømidler. På alle lokaliteterne kan P-koncentrationerne diagnosticeres som ”optimal” og i 2016 på ØA som ”tilstrækkelige”.

K-koncentrationen i bladene på ØA er generelt højere end på de to andre lokaliteter. I 2011, 2012 og 2014 er K-koncentrationen på ØA signifikant højere end K-koncentrationen på de to andre lokaliteter. Dette viser, at tilførslen af kaliumformiat påvirker træernes næringsstofstatus ved at hæve optaget og koncentrationen i bladene. Dette er formodentlig et udtryk for luksusoptag af dette næringsstof. For FÆ i 2014 - 2016 ses der ikke en signifikant forøgelse af K-koncentrationen som effekt af den store dosering i januar og februar, 2014. På alle lokaliteterne kan K-koncentrationerne diagnosticeres som ”tilstrækkelige”, på nær i 2010 hvor K-koncentrationerne på CB og i FÆ kan diagnosticeres som ”lave”.

For Ca er der i to af årene signifikante forskelle på P-koncentrationen i bladene imellem lokaliteterne, men det er svært at se et generelt mønster der kan tilskrives forskelle i anvendelsen af tømidlerne. Forskellene i Ca-koncentrationen imellem lokaliteterne i to af årene må tilskrives tilfældigheder, der ikke har sammenhæng med forskellen i anvendelse af tømidler. Man kunne have forestillet sig at den forøgede koncentration af K eller Na kunne have hæmmet optaget af Ca, men det ser ikke ud til at være tilfældet. På alle lokaliteterne kan Ca-koncentrationerne diagnosticeres som ”optimal” eller ”tilstrækkelig” med undtagelse af 2010 hvor alle lokaliteterne har Ca-koncentrationer, der kan diagnosticeres som ”lav”.

I de sidste 4 år af de 7 undersøgte år er der signifikant forskel på Mg-koncentrationen i bladene mellem lokaliteterne. Specielt er koncentrationen af Mg lavere på ØA i forhold til de to andre lokaliteter. Dette kan forklares ved, at tilførslen af kaliumformiat kan hæmme optaget og koncentrationen af Mg i bladene. Det er kendt at optagelsen af K og Mg påvirker hinanden. Stor tilførsel af K kan således føre til induceret mangel på Mg. Udvaskningen af Mg er også størst på ØA. Na kan have den samme effekt på Mg-optaget, men det ses ikke af de foreliggende resultater, hvilket kan tolkes som at effekten af K-spredning virker mere hæmmende på Mg-optaget end spredning af Na. Forskellen i denne effekt er dog ikke større end at der i 2016 ikke er signifikant forskel på Mg-koncentrationerne imellem ØA eller CB. På alle lokaliteterne kan Mg-koncentrationerne diagnosticeres som ”optimal”.

For S er der i tre af årene signifikante forskelle på S-koncentrationen i bladene imellem lokaliteterne. I de sidste to år har S-koncentrationen i bladene på CB været signifikant lavere end på de øvrige to lokaliteter. Dette kunne hænge sammen med at det også er på CB at udvaskningen af S er størst. S-koncentrationen på CB er signifikant højere i 2011 end ved de øvrige lokaliteter. Årsagen til dette er ukendt. På alle lokaliteterne kan S-koncentrationerne diagnosticeres som ”optimal”.

For Fe er der i 6 af de 8 år signifikante forskelle på Fe-koncentrationen i bladene imellem lokaliteterne, men det er svært at se et generelt mønster der kan tilskrives forskelle i anvendelsen af tømidler. Forskellene i Fe-koncentrationen imellem lokaliteterne tilskrives derfor tilfældigheder, der ikke har sammenhæng med forskellen i anvendelse af tømidler. På alle lokaliteterne kan Fe-koncentrationerne diagnosticeres som ”optimal”.

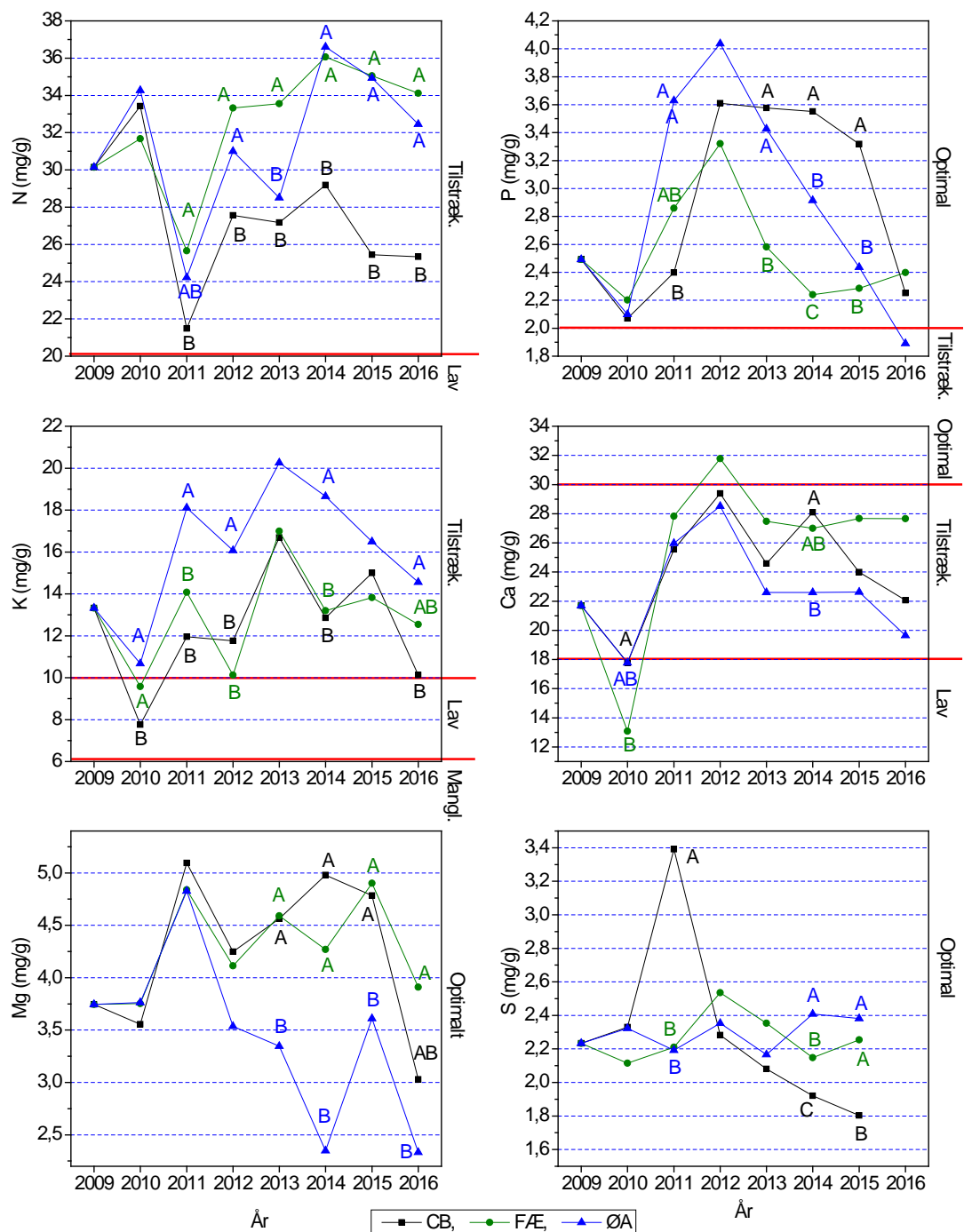
Også for Mn ser det ud til at de viste forskelle imellem lokaliteterne ikke kan tilskrives forskelle i de anvendte tømidler, men i højere grad må tilskrives tilfældigheder. Til gengæld ser det ud til at der er en tendens til at Mn-koncentrationen i bladene falder med tiden og ender med at have koncentrationer i 2016 som kan diagnosticeres som ”lave”. Dette kunne hænge sammen med, at den muld, som træerne er plantet i, har en relativt høj pH-værdi, som kan vanskeliggøre optag af Mn. Og at træerne som tiden går bliver mere og mere afhængig af at optage Mn fra den mere basiske muld der omgiver den oprindelige rodklump.

Koncentrationen af vand-ekstraherbart Na er kun målt i de sidste 5 år på med en metode der er sammenlignelig mellem årene. For Na gælder det at koncentrationen er signifikant højere end CB i alle årene og signifikant højere end FÆ i 2 ud af de 5 år og der er en tendens til at CB har højere Na-koncentrationer end FÆ i de øvrige 3 år. Anvendelsen af salt som tømiddel har således hævet koncentrationen af vand-ekstraherbart Na i bladene. I to af de fem år er Na-koncentrationen højere på i FÆ end på ØA, dette kan kun forklares ved at jorden i fælledparken indeholder mere Na end det er tilfældet på ØA.

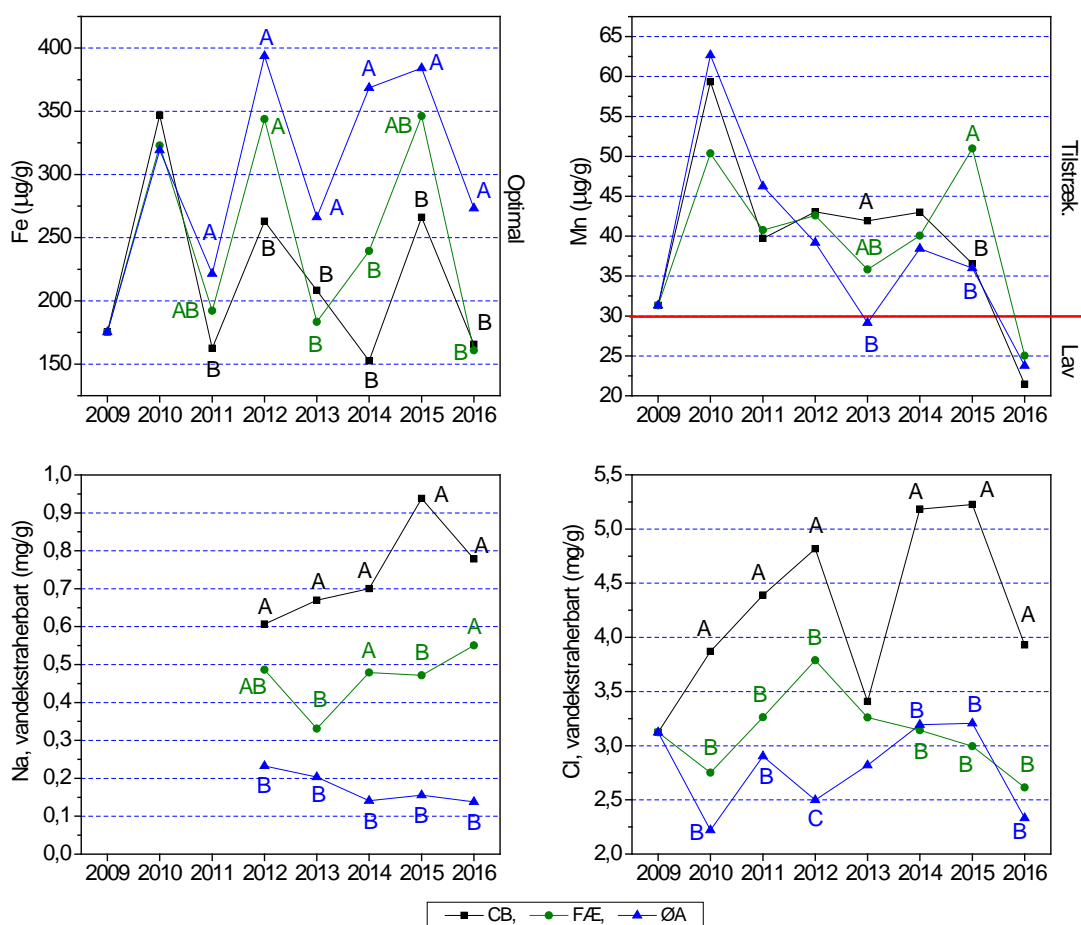
Spredningen af salt har tydeligvis hævet koncentrationen af vand-ekstraherbart Cl i bladene på CB i forhold til de to andre lokaliteter. Dette er signifikant 6 ud af de 7 år. Grunden til at Cl-koncentrationen i FÆ er højere i 2012 i forhold til på ØA kendes ikke. Cl-koncentrationen er på alle tre lokaliteter relativt høj sammenlignet med den tilsvarende koncentration i skoven, som ofte er mindre end 0,4 mg Cl/g.



Et forsøgstræ i Fælledparken (FÆ)



Figur 58: De gennemsnitlige koncentrationer af N, P, K, Ca, Mg og S i bladene på træerne ved Kortegårds Planteskole i 2009 og ved CB, F&E og ØA i august 2010–2016. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme år. Diagnostiske grænseværdier (van den Burg, 1985 og 1990) er angivet med røde streger og tekst i højre side af graferne.



Figur 59: De gennemsnitlige koncentrationer af Fe, Mn og vand-ekstraherbart Na og Cl i bladene på træerne ved Kortegårds Planteskole i 2009 og ved CB, FÆ og ØA i august 2010–2016. Forskellige bogstaver markerer signifikant forskellige koncentrationer mellem lokaliteterne inden for samme år. Diagnostiske grænseværdier er angivet med røde streger og tekst i højre side af graferne.

Overordnet ser det ud til at forskellen i anvendelsen tømider har påvirket træernes næringsstofstatus ved, at salt har hæmmet optagelsen af N og til dels S samt øget bladkoncentrationen signifikant for både vand-ekstraherbart Na og Cl. Desuden har kaliumformiat hæmmet optaget af Mg i nogle år og øget optaget af K.

Herudover skal det nævnes, at Mn-koncentrationen er faldende på alle lokaliteter og i 2016 har nået et niveau, der diagnosticeres som lavt. Dette kan sandsynligvis tilskrives den relativt høje pH i jorden.

Konklusioner på blade

Bladstørrelse: Som gennemsnit over forsøgsperioden er bladene signifikant større i FÆ end på CB og ØA, hvor de er omtrent lige store. Der er signifikant større blade på alle lokaliteter de sidste år af undersøgelsen i forhold til de første år. Forskellen tilskrives træernes etableringsperiode efter plantning.

Grønfarvning: Når alle vurderinger medregnes, er der signifikant forskel mellem lokaliteterne. CB har laveste score, dvs. mest gullige blade i gennemsnit over årene, og er signifikant lavere end i FÆ og på ØA.

Bladfarve: Farveparameteren L (hvid-sort) viser, at bladene på CB er signifikant lysere end på ØA, som er signifikant lysere end i FÆ. Der er ingen signifikant forskel på farveparameteren a (grøn-rød) mellem lokaliteterne over årene, alle bladene er samlet set lige grønne. Farveparameteren b (blå-gul) viser, at bladene på CB er signifikant mere gule end på ØA og FÆ, som samlet set er ens.

Klorofylkoncentration: Der er målt signifikant højere klorofylindhold i bladene på FÆ og ØA end på CB, hvor klorofylindholdet i bladene er mindst.

Fluorescens: For F_o ses en tydelig og signifikant forskel på F_o mellem de tre lokaliteter. CB har den største værdi og FÆ har den laveste. En høj F_o indikerer et dårligere fungerende fotosyntesystem.

For F_m viser det sig, at niveauet på FÆ og ØA er statistisk ens, med et lidt højere gennemsnit på FÆ end på ØA. Niveauet på CB er signifikant lavere. Jo højere F_m , jo bedre fotosyntesystem.

For F_v/F_m er der signifikant forskel mellem de tre lokaliteter. Gennemsnittet er højest på FÆ og lavest på CB. En høj værdi viser et vitalt og effektivt blad, mens en lav værdi viser et blad med en dårligere fotosyntesefunktion, hvilket netop er gældende for gennemsnittet for CB.

Den generelt accepterede grænse for normal fotosyntesefunktion ligger ved et F_v/F_m -niveau på 0,8. Tallet er ikke entydigt og varierer lidt mellem arter og sorter. Hvis vi vælger 0,8 som pejlemærke, betyder det, at ca. 33 % (447 målinger) af F_v/F_m -resultaterne ligger under det ønskede niveau.

Bladvægt: Der er ikke fundet statistisk signifikant forskel på bladvægten mellem de forskellige lokaliteter i nogen af årene, men i 2012 er der en tendens til, at bladvægten på CB er mindre end bladvægten på de andre lokaliteter.

Bladkemi: For nogle af næringsstofferne (P, K og Ca) gælder det, at koncentrationen falder fra 2009 til 2010, hvorefter den stiger de følgende år. Dette kunne tyde på, at træerne optager mindre af disse stoffer umiddelbart efter udplantning, men efterfølgende får et mere udviklet rodnet, der er i stand til at tage disse stoffer op.

For N og Fe er det bemærkelsesværdigt, at koncentrationerne er signifikant lavere på CB end på ØA i 2011, og i 2012 er den signifikant lavere på CB end begge de andre lokaliteter. Det ser ud til at anvendelsen af salt hæmmer optaget af N, mens optaget af N ser ud til at være upåvirket af anvendelsen af kaliumformiat. Dette kan også ses af resultaterne fra FÆ i årene efter 2014, hvor træerne i FÆ fik en stor dosis kaliumformiat, men tilsyneladende har en upåvirket N-koncentration i bladene.

Forskellene i P-koncentrationen mellem lokaliteterne i 4 ud af de 7 undersøgte år tilskrives tilfældigheder, der ikke har sammenhæng med forskellen i anvendelse af tømidler.

ØA har generelt en signifikant højere K-koncentration i bladene end på de to andre lokaliteter. Dette viser, at tilførslen af kaliumformiat hæver optaget og koncentrationen i bladene. Dette er formodentlig et udtryk for luksusoptag af dette næringsstof. Dette er dog i modstrid med observationerne for FÆ hvor der i 2014 - 2016 ikke ses en signifikant forøgelse af K-koncentrationen som effekt af den store dosering i januar og februar, 2014.

Der er en tendens til, at Mg-koncentrationen på ØA er lavere end på de to andre lokaliteter i 2012, som kunne tyde på, at tilførslen af K-formiat kan hæmme rodoptaget og koncentrationen af Mg i bladene.

For koncentrationen af Ca, S, Fe og Mn i bladene ser der ikke ud til at være forskelle, der kan tilskrives de anvendte tømidler.

Der er ikke observeret egentlig næringsstofmangel på nogen af lokaliteterne, men i 2010, umiddelbart efter udplantning, er koncentrationen af K og Ca tæt på grænseværdien for det "lave område". Dette er også tilfældet for Mn ved målingen i 2016.

Anvendelsen af NaCl som tømiddel har tydeligvis hævet Na- og Cl-koncentrationerne i bladene betydeligt på CB i forhold til de andre lokaliteter.

Økonomi

Økonomien i anvendelsen af hhv. salt eller kaliumformiat er belyst ved at opstille tre scenarier for Øster Allé. For alle scenarierne er de anvendte omkostninger estimeret af København Kommune ved Helle Hagelund og Kim Sørensen i 2014, med undtagelsen af træernes dødsrate ved anvendelse af kaliumformiat, som er et rent gæt (her findes ingen erfaringstal).

Scenarie 1 – Salt og saltværn:

- Der anvendes salt som tømiddel.
- Der opstilles og vedligeholdes saltværn omkring alle 124 træer.
- Der dør som gennemsnit ét træ hvert år ud af 60 træer ved anvendelse af vejsalt (det giver 2 træer pr. år i dette scenarie). Her medtages prisen for fjernelse og genplantning af døde træer.

Scenarie 2 – Salt og ingen saltværn:

- Der anvendes salt som tømiddel.
- Der opstilles ikke saltværn.
- Der dør som gennemsnit ét træ hvert år ud af 25 træer ved anvendelse af vejsalt (det giver 5 træer pr. år i dette scenarie). Her medtages prisen for fjernelse og genplantning af døde træer.

Scenarie 3 – Kaliumformiat og ingen saltværn:

- Der anvendes Kaliumformiat som tømiddel.
- Der opstilles og vedligeholdes ikke saltværn.
- Der dør som gennemsnit ét træ hvert år ud af 60 træer ved anvendelse af kaliumformiat (det giver 2 træer pr. år i dette scenarie). Her medtages prisen for fjernelse og genplantning af døde træer.

Scenarie 4 – Kaliumformiat 67% dosering og ingen saltværn:

- Der anvendes Kaliumformiat som tømiddel.
- Doseringen nedsættes med 1/3 til 67 %.
- Der opstilles og vedligeholdes ikke saltværn.
- Der dør som gennemsnit ét træ hvert år ud af 60 træer ved anvendelse af kaliumformiat (det giver 2 træer pr. år i dette scenarie). Her medtages prisen for fjernelse og genplantning af døde træer.

Tabel 58: Udgiften ved fire forskellige scenarier for glatførebekæmpelse på Øster Allé, som beskrevet i ovenstående. Kun direkte driftsomkostninger er medtaget.

	Scenarie 1 Salt og saltværn	Scenarie 2 Salt og ingen saltværn	Scenarie 3 Kaliumformiat og ingen saltværn	Scenarie 4 Kaliumformiat 67% dosering og ingen saltværn
Mængde tømiddel	15.663 kg	15.663 kg	15.663 kg	15.663 kg
Tømiddel pris	8.019	8.019	140.027	93.351
Saltværn	120.000	0	0	0
Ekstra snerydning	0	0	35.000	35.000
Udskiftning af døde træer?	80.000	200.000	80.000	80.000
Årlig udgift	208.019	208.019	255.027	208.351
Årlig udgift, hvis ingen træer dør	128.019	8.019	175.027	128.351

Ved sammenligning mellem scenarie 2 og 3 bliver det 47.000 kr. dyrere at anvende kaliumformiat frem for salt, hvis de givne antagelser holder. Københavns kommune har erfaret, at doseringen af kaliumformiat kan sænkes uden trafiksikkerheden forringes, og derfor er scenarie 4 medtaget. De beregnede udgifter er ens i scenarie 2 og 4. Af tabellen fremgår det tydeligt, at beregningen er meget følsom over for antallet af træer, der dør og skal udskiftes i de forskellige scenarier. Inden for forsøgsperioden er der ingen træer, der er døde på nogen af lokaliteterne, men med fortsat saltbehandling på CB er det sandsynligt, at træernes udseende og sundhedsmæssige tilstand vil forringes yderligere, og med tiden vil der erfaringsmæssigt være træer, der dør.



I den samlede økonomi for alternative tømidler indgår besparelsen ved at undvære saltværn.

Konklusion

Der er etableret forsøg på tre lokaliteter i 2010, hvor der blev plantet nye og sammenlignelige lindetræer. I mellem 2010 og 2017 er træerne blevet fulgt på en lang række parametre, ligesom jord og jordvand er analyseret. Der er anvendt tømidler på to lokaliteterne mens den tredje er brugt til sammenligning.

Lokaliteterne er:

- Centerboulevard (CB), hvor der er anvendt salt som tømiddel.
- Østre Allé (ØA), hvor der er anvendt kaliumformiat som tømiddel.
- Fælledparken (FÆ), hvor der ikke er anvendt tømidler.

På CB og ØA anvendes tømidlerne efter de udkald, der sker fra Københavns kommunes vintertjeneste, dvs. at doseringen tilpasses vejret.

De anvendte tømidler påvirker jordens kemi. Kaliumformiat medfører øgede koncentrationer af kalium, mens salt påvirker jordens koncentration af Na og Cl. Jordens indhold af de tilførte stoffer er en balance mellem den tilførte mængde og udvaskningen. Jordvandet påvirkes også af tømidlet. Der er signifikant mere Na og Cl i jordvandet på CB end på de andre lokaliteter. Jordvandets indhold af K på ØA påvirkes både af tømidlet og jordens naturlige indhold af Kalium.

Jordens kemiske balance påvirkes desuden af selve plantningen, hvor der graves et hul i eksisterende jord og påfyldes nyt AllétræsMuld.

Træernes vækst påvirkes meget af tømidlet, der anvendes på voksestedet. Efter syv år er træerne på CB, hvor der saltes, 7 meter høje, mens de på ØA, hvor der anvendes kaliumformiat, er 8,1 m høje. I FÆ er træerne hele 8,6 m høje. Tømidlerne har stor indflydelse på træernes vækst. Både mht. højdevæksten og tykkelsesvæksten er der signifikant mindre tilvækst på CB end på ØA og FÆ.

Også når træernes kronetæthed og –størrelse samt grenvæksten sammenlignes, så er der markant nedsat vækst på træerne på CB, hvor der saltes, i forhold til ØA.

Når træerne på CB sammenlignes med ØA mht. beløvning, bladenes grønfarvning, blomstringen, antallet af døde grene, misfarvning og døde pletter på bladene og overordnet sundhed, så er der på alle punkter signifikant negativ effekt af salt i forhold til kaliumformiat.

Bladene påvirkes af valget af tømiddel. Træerne på CB får mindre og lysere blade med et lavere klorofylindhold. Bladenes fotosyntesefunktion er målt ved fluorescensanalyser. Bladene på CB har signifikant dårligere fotosyntesekapacitet end på ØA og FÆ, og viser et generelt højere stress-niveau.

Når bladenes indholdsstoffer analyseres, ses der signifikant lavere indhold af N og Fe på CB end på ØA. Modsat ser det ikke ud til, at kaliumformiat hæmmer optagelsen af N i bladene på ØA, som til gengæld har et højere indhold af Kalium. På CB findes et markant højere indhold af Na og Cl i bladene end på ØA og FÆ.

Alle ovenstående resultater kan sammenfattes ved at sige: Salt påvirker jorden langs vejene. Jordvandet påvirkes ligeledes af salt. Via jord og jordvand påvirkes vejtræerne negativt både mht. vækst, sundhed og udseende, ligesom bladenes indhold af klorofyl og fotosyntesefunktion forringes.

Anvendelsen af kaliumformiat har ikke tydelige negative effekter på vejtræerne hverken i normale doser eller ved forsøg med ekstreme doseringer.

Økonomien ved anvendelse af kaliumformiat afhænger dels af doseringen, dels af om der anvendes saltværn og endeligt af, om der inddrages trævitalitet og -død i regnskabet. Hvis der spares saltværn og undgås genplantning af døde træer, så er der ikke væsentlig økonomisk forskel på vejsalt og kaliumformiat.



Sandsynligvis bliver glatførebekæmpelsen mere varierende fremover.

Referencer og uddybende litteratur

Referencer

- Bühler, O. 2012. Analyser af jord og blade. Grønt miljø 6: 30-31.
- Holgersen, S. 1994. Jordbundsanalyse og gødningsplan. Grønt miljø 2: 29-36.
- ICP Forests, 2010. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests, Part X Sampling and analysis of Soil. Updated: 05/2010. In: ICP Forests (International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests). 208 pp.
- Ingerslev, M., & Skov, S. 2015. Miljøpåvirkning af traditionelt vejsalt og alternative tømidler: Et litteraturstudie under Vinterudvalget. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport
- Ingerslev, M., Bühler, O., Thomsen, I., Nielsen, C.N., Kragh, M. M., Skov, S., Kristoffersen, P. 2012. Evaluering af træplantningen på Kongens Nytorv. IGN Rapport. Januar 2014. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Frederiksberg. 63 s. ill.
- Ingerslev, M., Skov, S., Bjerager, P., Pedersen L. B., 2014. Alternativ glatførebekæmpelse i København – virkning på beplantninger og jord. Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 109 s. ill.
- Jørgensen, K. T., Holgersen, S., Poulsen, H. W. 2011. Normer og vejledning for anlægsgartnerarbejde. Danske anlægsgartnere 2010. ISBN 978-87-7387-0447. 106 pp.
- Pedersen, L.B. Randrup, T.B., Ingerslev, M., & Krag M. 2000. Vejsaltets spredning til vejbeplantninger. Effekt af beskyttelsestype og vejafstand II (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Frederiksborg Amt.
- Pedersen, L.B., Randrup, T.B., Harder A. 2001. Effekt af saltværn i hævet midterrabat. Fortsættelse og udvidelse af pilotundersøgelser vedr. påvirkningen af vejsalt på rabatterne på Nørre Allé. Rapport til Københavns Kommune, Skov & Landskab (FSL), 1-19.
- Plantedirektoratet, Landbrugsministeriet, 1994. Fælles arbejdsmetoder for jordbrugsanalyser, marts 1994.
- Stuanes, A. O., Ogner, G., Opem, M., 1984. Ammonium nitrate as extractant for soil exchangeable cations, exchangeable acidity and aluminum. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15: 773-778.

UNSW (2013). Exchangeable Sodium Percentage (ESP). University of South Wales.
www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGISsoil/spexchangeablesodiumpercentage.html

Van den Burg, J., 1985. Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data. Institute for Forestry and Urban ecology, "De Dorschkamp", Wageningen, The Netherlands. 615 pp.

Van den Burg, J., 1990. Foliar analysis for determination of tree nutrient status - A compilation of literature data, 2. Literature 1985-1989. Institute for Forestry and Urban ecology, "De Dorschkamp", Wageningen, The Netherlands. Report no. 591. 220 pp.

Winn, M. F., Araman, P. A. og Lee, S.-M. 2011. UrbanCrowns: An assessment and monitoring tool for urban trees. United States Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research station. General technical report SRS-135: 10 pp.

Uddybende litteratur

Ingerslev, M., Pedersen, L. B., and Raulund-Rasmussen, K. (1997). Stofkredsløb i de danske skove, Mangan (Mn). Videnblade, Skovbrug. Forskningscentret for Skov & Landskab, Hørsholm. 8.5-5, 1997.

Ingerslev, M., Pedersen, L.B. Randrup, T.B. (1999). Effects of Road distance and Protective Measures on NaCl in Planted Central Reserves. Danish Forest and Landscape Research Institute. Series Proceedings, 2, 47.

Jaquet, J., Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsalt, træer og buske. Stads- og havneingeniøren, 4, 40-44.

Paludan-Müller, G., Saxe, H., Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. (2002): Differences in salt sensitivity of four deciduous species to soil or airborne salt. *Physiologia Plantarum*, 114, 223-230.

Pedersen, L. B. & Ingerslev, M., (2002): Effekt af saltværn i hævet midterrabat. Rapport nr. 3 i rækken af undersøgelser over virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé. Skov & Landskab (FSL), Hørsholm. 37 pp.

Pedersen, L. B. & Holgersen, S. (2006). Hævet vejrabat dæmper saltskader. *Grønt Miljø*, 2, 10-11.

Pedersen, L. B. (2006). Reduktion af saltbelastning– forsøg med hævede vejrabatter, saltværn og afstand mellem vejkant og planter, Videnblade Park og Landskab, 3,2-7.

Pedersen, L. B., Christensen C. J. & Randrup, T. B. (1996). Effekter af vejsaltning i juletræsbevoksninger. Skoven, 12, 532-536.

Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Krag, M.M. (2010): Saltskader afslører vinterens massive vejsaltning. Grønt Miljø, 6, side 44-45.

Pedersen, L. B., Ingerslev, M. & Randrup, T.B. (2000): Effects of Road distance and Protective measures on de-icing NaCl deposition and soil solution chemistry in planted median strips. Journal of Arboriculture, 26, 238-244.

Pedersen, L.B. & Knudsen, J. J. (2006). Virkning af saltværn, hævet vejrabat og afstand til vejkant. Stads & havneingeniøren, 1, 24-27.

Pedersen, L.B. & Krag, M. (2005). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte stationsvej. 1997-2004, pp. 9.

Pedersen, L.B. & Krag, M. (2005). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej, 1997-2005. 21s.

Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. (2001). Vurdering af jordkvalitet på Kay Fiskers Plads. Rapport til Rambøll. 1-12.

Pedersen, L.B. & Randrup, T.B. De nyeste resultater fra vejsaltprojektet - beskyttelse og afstandseffekt. Bytræsseminar 1999, conference-proceedings, 15-16.

Pedersen, L.B. (2001). Beskyttelse af vejtræer og buske mod vejsalt - resultater fra 4 års undersøgelser. In Randrup, T.B. Vejsalt mod det 21 århundrede. Vejsaltkonference på Radisson SAS Scandinavia København, 1-2.

Pedersen, L.B. (2004). Effekt af saltværn, vejafstand og hævet vejrabat. Rapport nr. 4 om virkningen af vejsalt på vejrabatterne på Nørre Allé og Lyngbyvejen, pp 65.

Pedersen, L.B., Randrup, T.B. og Ingerslev, M. (1999). Halmmåtter som saltbeskyttelse. Videnblade Park og Landskab, 5.23-6, 1-2.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., (2003). Datarapport over jordkemiske målinger på Holte Stationsvej 2002/2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 6 pp.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. & Krag, M.M., (2003). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2003. Rapport til Søllerød Kommune. Skov & Landskab. 21 pp.

Pedersen, L.B., Ingerslev, M. Randrup, T.B. & Harder, A. (2000). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej. Delprojekt under vejsaltprojektets fase 3.

- Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Krag M. & Larsen F. (2007). Saltet akkumuleres i gadetræernes jord. Grønt Miljø, 9, 10-13.
- Pedersen, L.B., Ingerslev, M., Randrup T.B., Harder A. (2001). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte Stationsvej 1997-2001. 1-11.
- Pedersen, L.B., Randrup T.B. & Krag M.M. (1998). Rapport over tilsaltning af jord anvendt i midterrabat på Holte stationsvej. 1-4. FSL rapport.
- Pedersen, L.B., Randrup T.B. Jørgensen, P. (1997). Usikkert om halmmåtter hjælper træerne. Målinger i vejsaltforsøg sår tvivl om almindelig praksis i saltbeskyttelsen. Grønt Miljø, 6, 26-31.
- Pedersen, L.B., Randrup, T.B. & Harder, A. (2000). Pilotundersøgelser over påvirkningen af vejsalt på side- og midterrabatten på Nørre Allé. Datarapport til Københavns Kommune, Forskningscentret for Skov & Landskab, 1-9.
- Pedersen, L.B., Randrup, T.B. og Ingerslev, M. (1999). Saltskader og afstanden til vejkanterne. Videnblade Park og Landskab, 5.23-7, 1-2.
- Pedersen, L.B., Randrup, T.B., & Ingerslev, M. (2001). Fire grunde til at bytræerne skranter. Fire grunde til at bytræerne skranter. Grønt Miljø, 76-81.
- Pedersen, L.B., Sørensen, K.N, Ingerslev, M., Knudsen, J.J. & Elvekjær, J.:(2009) Kaliumformiat skal op til den store prøve. Grønt Miljø, 9, 56-57.
- Pedersen, L.B.; Ingerslev, M., Randrup, T.B. & Krag M. (2001). Vejsalt og beskyttelsesforanstaltninger II. (1997-2000). Delprojekt under Vejsaltprojektets fase 3, Vejsalt, træer og buske. Rapport til Københavns Amt.
- Pedersen. L. B. & Randrup T. B. (1996): Talrige skader på vejbeplantninger. Vintersaltningen rammer hårdt - viden om modforanstaltninger savnes. Grønt Miljø, 6, 62-67.
- Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Beskyttelse mod vejsalt. Videnblade Park og Landskab, 5.23-5, 1-2.
- Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Glatførebekæmpelse og saltskader. Videnblade Park og Landskab, 5.23-4, 1-2.
- Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (1999). Salt og saltspredning. Videnblade Park og Landskab, 5.23-3, 1-2.
- Randrup T.B. & Pedersen, L.B. (2000). Tilsaltning af ny jord i bymiljø. Videnblade Park- og Landskab, 5.23-8, 1-2
- Randrup T.B. Pedersen, L.B. (1999). Aldrig mere salt på Frederiksberg Allé. Grønt Miljø, 2, 4-6.

Randrup, T. B. & Pedersen L. B. (1996). Vejsalt, træer og buske. En litteraturundersøgelse om NaCl's effekter på vedplanter langs veje. Vejdirektoratet. Rapport nr. 64, 1-68

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Bestemmelse af saltindhold i jord og planter. Videnblade Park og Landskab, 5.23-2, 1-2.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Bytræer og vejsalt. Skadernes omfang og betydning. Hvilke alternativer er der. Koch, N. E.; Larsen, J. B. (eds). Skov & Landskabskonferencen 1997. Forskningscentret for Skov & Landskab og Den Kgl. Veterinær - og Landbohøjskole, 145-150.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Skadevirkning af vejsalt på træer og buske. Videnblade Park og Landskab, 5.23-1, 1-2.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1997). Vejsaltningens påvirkning af miljøet langs det danske vejnet. Koch, N.E.; Larsen, J.B. (eds). Skov & Landskabskonferencen 1997. Forskningscentret for Skov & Landskab og Den Kgl. Veterinær - og Landbohøjskole, 265-266.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Forebyggende vejsaltning. Jord og viden. 15, 3.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsalt, træer og buske. - En spørgeskemaundersøgelse om vejsaltning, planteskader og beskyttelse af vedplanter langs veje og gader i Danmark. Vejdirektoratet. Rapport nr. 142, 1-106.

Randrup, T.B. & Pedersen, L.B. (1998). Vejsaltprojektet på Forskningscentret for Skov & Landskab, Vækstnyt, Efterår, 3.

Randrup, T.B., Pedersen, L.B. & Gludsted, S. (2001). Planter og vejsalt. Dansk vejtidsskrift, 10, 36-37.

Saxe, H., Müller G., Randrup T. B. & Pedersen L. B. (2000). Veje til optagelse af salt i vejtræer. Stads og havneingeniøren, 12, 46-49.

Saxe, H.; Müller, G. P.; Randrup, T. B.; Pedersen, L.B. (2001). Veje til optagelse af salt i vejtræer. Stads- og havneingeniøren, 12, 46-49.

Sørensen, K.N., Knudsen, J.J., Pedersen, L.B. & Ingerslev, M. (2009): Forsøg med anvendelse af alternativt tømiddel. Trafik og veje – Dansk Vejtidskrift, 10, 8-11.

Tvedt, T. Randrup, T.B., Pedersen, L.B. & Gludsted, S. (2001). Planter og vejsalt. 1-19, Vejdirektoratet og Skov & Landskab (FSL)

KØBENHAVNS UNIVERSITET

INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB
OG NATURFORVALTNING

ROLIGHEDSVEJ 23
1958 FREDERIKSBERG

TLF. 35 33 15 00
IGN@IGN.KU.DK
WWW.IGN.KU.DK